DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Elfter Jahrgang. **1. Juni 1923.** **Heft 22.**

Rekristallisation von Metallen[1]).

Von G. Masing, Berlin.

1.

Unter Rekristallisation versteht man allgemein die Änderungen, die im Kristallgefüge der Metalle bei deren Erhitzung auftreten. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Rekristallisation an eine gewisse Vorgeschichte der Metalle geknüpft ist, und daß sie besonders lebhaft und mannigfaltig bei Materialien auftritt, die vorher deformiert (gereckt) worden waren. Im Verlaufe der Rekristallisation gehen die in den Metallen durch die Reckung hervorgerufenen Änderungen der technischen Eigenschaften zurück. Härte, Zerreißfestigkeit usw. nähern sich wieder den Werten, die das Material vor der Deformation gehabt hat. Im Zusammenhang damit betrachtet man auch die Rekristallisationserscheinungen als Beseitigung eines durch die Reckung hervorgerufenen Zwanges und Rückkehr zum ursprünglichen, natürlichen Zustand. Im Einklang mit dieser Auffassung steht die Tatsache, daß gegossene Metalle (die man in diesem natürlichen Zustande beläßt) nicht rekristallisieren. Außer der Reckung kann auch allgemein eine unterhalb des Schmelzpunktes bewirkte Phasenänderung zur Rekristallisation führen. Als solche ist z. B. eine Reduktion im festen Zustand, eine elektrolytische Abscheidung, eine allotrope Umwandlung usw. zu betrachten. Auf diese Erscheinungen werden wir jedoch im folgenden zunächst nicht eingehen, sondern uns auf die Rekristallisation gereckter Metalle beschränken.

Die technische Bedeutung der Rekristallisation ist außerordentlich groß. Das ergibt sich schon daraus, daß die technische Behandlung der meisten Metalle aus einer größeren Reihenfolge von Reckungen und Erhitzungen besteht, so daß alle Bedingungen für wiederholte Rekristallisationsvorgänge gegeben sind, die bei abnormem Verlauf zu schweren Schädigungen führen können. An einzelnen Beispielen für die technische Bedeutung der Rekristallisation seien nur folgende angeführt:

1. Einige Aluminiumlegierungen haben die Neigung, bereits unter geringer, aber dauernder Belastung aufzureißen (*Rosenhain*, Eleventh report to the alloys research committee. On some alloys of Aluminium 1921), und zwar nur dann, wenn sie vorher einer Rekristallisation bei ca. 450—500° unterworfen worden waren. Die Erhitzung auf diese Temperaturen ist andererseits zur Erzeugung des dem Duralumin analogen Vergütungseffektes notwendig. Ferner tritt das Aufreißen nur dann auf, wenn die durch die Rekristallisation entstandenen Begrenzungsflächen der Kristallite glatt und nicht etwa verzahnt sind. Hier besteht also das technische Problem, die Rekristallisation so zu leiten, daß Begrenzungsflächen einer bestimmten Gestalt entstehen. Im folgenden werden wir sehen, daß die große Mannigfaltigkeit der Rekristallisationserscheinungen uns eine derartige Möglichkeit bietet, wenn wir auch zurzeit noch nicht in der Lage sind, die Bedingungen hierfür genau anzugeben.

2. Ein weiteres Beispiel bietet die Herstellung von Führungsbändern aus Eisen (während des Krieges). *Körber* und *Wüst* (siehe z. B. *E. H. Schulz*, Zeitschrift für Metallkunde *12* (1920)) haben durch besondere Maßnahmen bei der Rekristallisation von Eisen ein ganz extrem weiches Material erzeugen können, das ganz andere Eigenschaften hatte als sonst Eisenmaterial von derselben Zusammensetzung, und sich zur Herstellung von Führungsbändern gut eignete.

Auf die Metalle, die in der Technik hohen Temperaturen ausgesetzt sind, wie Glühlampendrähte, Kesselbleche, Bestandteile von Turbinen usw., braucht in diesem Zusammenhang nur hingewiesen zu werden.

Die technische Bedeutung der Rekristallisation ist gar nicht hoch genug einzuschätzen, aber diese gewinnt in den letzten Jahren auch ein immer steigendes wissenschaftliches Interesse, insbesondere deshalb, weil jetzt bereits so viel systematisches Beobachtungsmaterial vorliegt, daß sich die ersten Möglichkeiten einer theoretischen Zusammenfassung ergeben. Diese führen, wie immer, zu einer neuen Belebung des Experimentes, das nun wieder rückwirkend die Theorie fördert. In der allerletzten Zeit gewinnt man immer mehr den Eindruck, daß sich bereits eine gewisse Klärung der theoretischen Ansichten über die Rekristallisation anbahnt, daß die meisten Gegensätze zwischen den einzelnen Anschauungen sich auf Mißverständnisse zurückführen lassen, und daß eine baldige Verständigung zu erhoffen ist. Mit dieser könnte dann auch eine Theorie des metallischen Zustandes entstehen, die einen Anspruch auf wissenschaftlichen Wert machen könnte.

Im folgenden sollen die Erscheinungen der Rekristallisation nach Möglichkeit in einem einheitlichen Zusammenhang, wie er sich dem Ver-

[1]) Vorgetragen am 1. Dezember 1923 in der Gesellschaft f. techn. Physik.

fasser bietet, dargestellt werden. Eine solche Darstellung ist heute noch naturgemäß subjektiv. Die oben erwähnte Wahrnehmung jedoch, daß die Anschauungen der einzelnen Forscher sich zurzeit zu nähern scheinen, läßt hoffen, daß der folgenden Darstellung eine allgemeinere Bedeutung zukommt.

Die Größe des Gebietes und die Rücksicht auf die Einheitlichkeit der Darstellung erlauben nicht, die anderen Theorien der Rekristallisation eingehender zu erörtern.

2.

Wenn wir die Rekristallisation von gereckten Metallen verfolgen wollen, so müssen wir zuerst die Struktur solcher Metalle und ihre Entstehung kurz besprechen. Das Ausgangsmaterial, das gegossene Metall, besteht aus einer größeren Anzahl von Kristalliten, deren jeder eine einheitliche Orientierung hat, und die sich an wohl definierten Begrenzungsflächen von unregelmäßiger Form berühren. In Fig. 1 ist ein derartiges Gußgefüge (des Eisens) dargestellt[1]). Man sieht ein Maschenwerk von scharfen Korngrenzen, die

Fig. 1. Gußgefüge des Eisens.

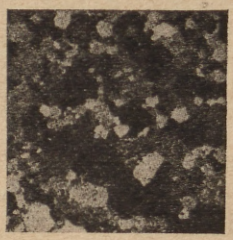

Fig. 2. Dislozierte Reflexion.

die einzelnen Kristallite umschließen. Solche Linien entstehen beim Ätzen des Metalles, und zwar, weil zwischen den Kristalliten sich meistens bei der Erstarrung die Verunreinigungen ansammeln, so daß an den Korngrenzen stoffliche Unterschiede gegenüber der übrigen Metallmasse bestehen. Ein Bild wie das in Fig. 1 dargestellte sagt natürlich noch nichts über die kristallographische Orientierung der einzelnen Kristallite aus.

Unter geeigneten Bedingungen der Ätzung und Beleuchtung haben wir die Möglichkeit, diese einheitliche Orientierung durch unmittelbare mikroskopische Beobachtung zu prüfen. Je nach der Orientierung erscheinen nämlich dann die einzelnen Kristalle als Ganzes hell oder dunkel, und durch Änderung der Belichtungsrichtung haben wir die Möglichkeit, ihre Helligkeitsunterschiede zu beeinflussen oder sogar umzukehren. Diese mit der Orientierung der Ätzgrübchen zusammenhängende Erscheinung nennt man nach *Czochralski*[2]) *dislozierte Reflexion*. Ihre Spuren sind bereits in Fig. 1 zu erkennen, da einzelne Kristalle etwas dunkler erscheinen als andere, noch viel schöner und charakteristischer jedoch auf Fig. 2, wo die großen Helligkeitsunterschiede die Grenzlinien so weit überdecken, daß diese als solche nicht mehr wahrzunehmen sind.

Das Bestehen einer dislozierten Reflexion in den einzelnen Kristalliten und ihre scharfe, eindeutige Abgrenzung gegeneinander sind die beiden Merkmale der Struktur eines gegossenen Metalles oder eines solchen, das nach weitgehender Rekristallisation sich dem inneren Zustand eines solchen genähert hat.

Während der Kaltreckung verwischen sich diese beiden Merkmale. In erster Linie verliert sich die dislozierte Reflexion, was zweifellos auf eine Störung der Ätzbarkeit durch die Verarbeitung zurückzuführen ist. Aber auch das Bild der Begrenzungslinien der Kristallite wird nach und nach unscharf und verworren, so daß man zweifeln kann, ob man die undeutlichen und zerrissenen Linien und Streifen (Fig. 3) überhaupt noch als Kristallitgrenzen ansprechen darf. Von der dislozierten Reflexion ist nichts mehr übrig. Man sieht nur vereinzelte Linienfragmente. Wird die Verarbeitung besonders vorsichtig vollzogen, so gelingt es allerdings zuweilen, die ursprünglichen Kristallitbegrenzungen nach der Ätzung als geschlossenes Maschenwerk zu erhalten, was verständlich ist, da die Korngrenzen anders zusammengesetzt sind als das Innere der Kristallite. Über die Orientierung der von den Maschen umschlossenen Gebiete erlaubt die mikroskopische Beobachtung jetzt keine Aussage, da ja die dislozierte Reflexion nicht mehr besteht. Es ist deshalb möglich, daß dieses Maschenwerk mit kristallographischen Begrenzungen nichts mehr gemein hat und einfach die erhaltenen Zwischenschichten von abweichender Zusammensetzung anzeigt. Mehr Klarheit verschafft uns in diesem Falle die Röntgenanalyse. Das Röntgendiagramm des kaltgereckten Metalles (zahlreiche Beobachter, in der letzten Zeit, besonders *Polanyi*[1]) und *Groß*[2]) läßt darauf schließen, daß in dem Metall eine reiche Lagenmannigfaltig-

Fig. 3. Kaltgerecktes Metall. Verschwinden der dislozierten Reflexion (Legierung mit 80 % Cu und 20 % Ni).

[1]) Nach *Guertler*, Handbuch der Metallographie Bd. *1*, S. 194.

[2]) Siehe z. B. Int. Z. f. Metallographie *8*, S. 1 (1916).

[1]) Zahlreiche Arbeiten Z. f. Physik 1921 und 1922.

[2]) Erscheint demnächst in der Z. f. Metallkunde.

keit mit bevorzugter Orientierung besteht. Das folgt daraus, daß man im Laue- und im Debyediagramm nicht einzelne Punkte, sondern Kurventeile erhält. Die Oberfläche des kaltgereckten Metalles birgt in sich also eine große Mannigfaltigkeit von Raumgitterorientierungen, die dem Mikroskop unzugänglich sind. Wir können das mikroskopische Bild nicht mehr richtig lesen und wir müssen deshalb bei seiner Deutung (und bei der Deutung dessen, was aus einem solchen unleserlichen Gefüge bei der Rekristallisation entsteht) doppelt vorsichtig sein.

Ein ebenso wichtiges Resultat der Röntgenometrie der kaltgereckten Metalle ist folgendes. Keines der bisher untersuchten und durchgerechneten Bilder hat Anzeichen einer Störung der Raumgitterstruktur ergeben. Das gilt natürlich nur innerhalb der Genauigkeitsgrenzen der Röntgenmethode, die bei etwa ½ % liegen dürften. Innerhalb dieser Grenzen hat also das Raumgitter eines kaltgereckten Metalles dieselben Parameter, wie das des Ausgangsmaterials. Es ist jedoch so gut wie sicher, daß geringere Störungen, die vermutlich unter diesen Grenzen liegen, bei der Verarbeitung wohl zustande kommen. Der beste Beweis dafür ist einerseits das Verschwinden der dislozierten Reflexion, und andererseits die Verschiebung der chemischen Resistenzgrenzen bei der Kaltreckung (*Tammann*)[1]. Man darf aber nach obigem hieraus noch nicht auf eine gänzliche oder selbst nur eine weitgehende Störung des Raumgitters schließen. Das ist übrigens auch nicht nötig, da wir, insbesondere nach den Arbeiten von *Groß*, wissen, daß die Ätzbarkeit gegen ganz geringe Störungen im Aufbau eines Kristalles außerordentlich empfindlich ist und daß demnach auch das Verschwinden der charakteristischen Ätzfiguren sehr wohl bei Störungen, die weit innerhalb der nach dem Röntgenbefunde zulässigen Grenzen liegen, möglich ist.

Unser Hauptresultat ist also: Die wahre Struktur eines kaltgereckten Metalles entzieht sich unserer mikroskopischen Beobachtung, und wir sind bei ihrer Deutung und bei der Deutung der Rekristallisationsvorgänge entweder auf indirekte Schlüsse oder auf die leider nur summarischen Ergebnisse der Röntgenanalyse angewiesen.

3.

Aus dieser unleserlichen Struktur entwickelt sich nun bei der Erhitzung das Rekristallisationsgefüge des Metalles. Wir wollen diese Entwicklung an Hand eines charakteristischen Beispiels verfolgen. *Adcock*[2] hat außerordentlich sorgfältige Beobachtungen über die Rekristallisation einer Legierung mit 80 % Kupfer und 20 % Nickel veröffentlicht. Die bereits erwähnte Fig. 3 zeigt diese Legierung im kaltgereckten Zustande. Es ist das übliche undeutliche Bild, das von einer großen Reihe schräg gerichteter Streifen durchsetzt ist. Zweifellos ist diese Streifung auf zahlreiche Gleitungen während der Verarbeitung des Materials zurückzuführen. Die erste Strukturänderung, die bei der Erhitzung dieses kaltgereckten Metalles beobachtet wird, besteht darin, daß an Stelle der ursprünglichen undeutlichen Streifung bei 412—416 ° schärfer abgegrenzte Zwillingslamellen auftreten. Das ist eine charakteristische Erscheinung, durch die der Beginn der Rekristallisation auch bei anderen Metallen sehr oft eingeleitet wird. Sie erklärt sich wohl folgendermaßen: Durch ein Umklappen des Raumgitters bei der Reckung in eine *Zwillingslage* entstehen zahlreiche Deformationszwillinge, wie man sie nennt. Durch äußere Zwangsbedingungen rein geometrischer oder physikalischer Natur können sich diese jedoch nicht voll entwickeln, sie durchsetzen nicht den ganzen Kristall, und in manchen Gebieten bleibt das Raumgitter, ohne die neue stabilere Zwillingslage erreichen zu können, in einer unbeständigeren Zwischenlage hängen. Das Resultat dieser gehemmten Zwillingsbildung ist das in Fig. 3 dargestellte verworrene Gefüge. Das erste Resultat der Erhitzung eines kaltgereckten Metalles besteht nun darin, daß infolge der erhöhten molekularen Beweglichkeit bei der höheren Temperatur die Spannungen ausgelöst werden und die Lamellen vollständig in ihre neue Gleichgewichtslage in der Zwillingsstellung einschnappen, während wieder andere in ihre ursprüngliche Lage zurückgehen. Der durch die Kaltreckung im Metall hervorgerufene Zwangszustand wird hierdurch jedoch nur in geringem Maße beseitigt, wie die später eintretenden Rekristallisationserscheinungen und der Umstand beweisen, daß die durch den Kaltreckungsvorgang erzeugten technischen Eigenschaften in diesem Vorstadium der Rekristallisation noch ziemlich voll erhalten bleiben. Wird das Material weiter bis auf 480 ° erhitzt, so werden längs der Zwillingsstreifen und Gleitebenen neue, winzige Kriställchen sichtbar. Der Wahrnehmung derartiger, einigermaßen deutlich abgegrenzter Kriställchen geht die Entstehung von gutausgebildeten Ätzeindrücken voran. Offenbar ist diese Beobachtung so zu deuten: Es bildet sich zuerst an einzelnen Stellen ein soweit ungestörtes Raumgittergefüge zurück, daß die Entstehung eines normalen Ätzeindruckes, der ja mit der summarischen Erscheinung der dislozierten Reflexion wesensverwandt ist, möglich wird. Erst als zweite Erscheinung tritt eine Abgrenzung dieses Raumgitters gegen seine Umgebung, die wahrnehmbare Entstehung eines Kristalles auf. Die streifenförmige Anordnung der neuen Kristalle ist auf Fig. 4 zu sehen.

Der Beginn der Rekristallisation an den bevorzugten Stellen der Gleitebenen ist zweifellos darauf zurückzuführen, daß die Deformation des Materials während der Verarbeitung längs dieser Flächen besonders groß gewesen ist, und daß dementsprechend auch die Rekristallisation hier mit

[1] s. zum Beispiel Lehrbuch der Metallographie, 2. und 3. Aufl.; daselbst auch weitere Literaturangaben.
[2] Journal of the Inst. of Metals 1922, Bd. *I*.

größerer Lebhaftigkeit als in den einem geringeren Zwange ausgesetzt gewesenen Zwischengebieten einsetzt. Der weitere Vorgang der Rekristallisation besteht nun darin, daß, von den ursprünglichen Gleitflächen ausgehend, sich in immer größerer Anzahl vorher nicht sichtbar gewesene kleine Kristalle bemerkbar machen, deren Dimensionen gleichzeitig größer werden. Die im Verlaufe der Rekristallisation zur Wahrnehmung gelangenden kleinen Kristalle überfluten allmählich die gesamte Fläche des Metalles, und die zwischen denselben verbleibenden, von der deutlich wahrnehmbaren Rekristallisation noch nicht ergriffenen Teile werden immer geringer. Eine charakteristische Erscheinung dieses Zwischenstadiums besteht darin, daß viele Kristalle keine vollständige Umgrenzung aufweisen, wie das auf Fig. 5 in stärkerer Vergrößerung zu sehen ist, so daß man oft im Zweifel ist, wie man eine Grenzlinie, die ohne Anschluß an eine andere plötzlich abreißt, überhaupt zu deuten hat.

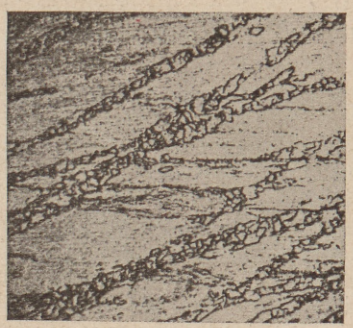

Fig. 4. Fortschreiten der Rekristallisation der in Fig. 3 genannten Legierung bei Erhitzung auf 480 °.

Nachdem die Rekristallisation die gesamte Fläche des beobachteten Bildes überflutet hat, entsteht ein Bild, das demjenigen eines gegossenen Metalles recht ähnlich ist. Wir haben wieder dieselben scharfen Kristallgrenzen und dieselbe charakteristische dislozierte Reflexion (s. Fig. 2). An diesem Beispiel sieht man, daß die Rekristallisation, entsprechend der nicht einheitlichen Deformation bei der Kaltreckung innerhalb des Materials, nicht einheitlich verläuft. Die hauptsächlich stets an bevorzugten Stellen längs Gleitfäden erfolgende plastische Deformation der kristallinischen Aggregate macht es unmöglich, einem Metall eine im Innern einheitliche und einigermaßen definierte Reckung zu erteilen. Das muß natürlich die systematische Forschung außerordentlich erschweren. Wenn wir z. B. den Zusammenhang der Rekristallisation mit den Änderungen der technischen Eigenschaften des Materials untersuchen, so erhalten wir nach *Adcock* für die Härte in Abhängigkeit von der vorangegangenen Erhitzung die Kurve Fig. 6: Die Härte beginnt nach einer Erhitzung etwa auf die Temperatur, bei der die Wahrnehmung der kleinen Kristalle möglich wird, zu sinken und fällt dann innerhalb von etwa 200 ° schnell ab, um nach einer weiteren Erhitzung nur noch verhältnismäßig langsam zu sinken. Die Änderung der Härte geht also mit der Rekristallisation parallel. Der genauere Zusammenhang der Härteabnahme mit den Einzelvorgängen der Rekristallisation läßt sich jedoch nicht feststellen, weil verschiedene mikroskopische Teile des Materials nach und nach zur Rekristallisation gelangen, während die Härte makroskopisch an größeren Gesamtteilen bestimmt wird. Das einzige, was wir sagen können, ist: Die Härteänderungen bei der Rekristallisation hängen in der Hauptsache mit dem Vorgang der sichtbaren Entstehung der neuen Kristalle usw. zusammen und nicht mit der späteren Zunahme der Kristallgröße.

4.

Wir wollen nunmehr den Zusammenhang der Rekristallisation mit der vorangegangenen Reckung, soweit es möglich ist, systematisch ver-

Fig. 5. Weiteres Stadium der Rekristallisation.

folgen. Gegossene Metalle rekristallisieren nicht. Es entsteht zunächst die Frage, in welcher Weise die Rekristallisation nach geringen Deformationen auftritt[1]).

Wenn man ein Metall (Zinn mit 1,5 % Antimon) schwach beansprucht, z. B. im Schraubstock vorsichtig zusammenpreßt, so entstehen dabei Zwillingslamellen, die nach den Grenzen der Kristallite keilförmig zulaufen (Fig. 7). Der auffallende Unterschied gegenüber den Beobachtungen von *Adcock*, welcher eine ähnlich klare Entwicklung der Zwillinge erst nach vorangegangener Erhitzung beobachtet hat, ist wohl auf zwei Ursachen zurückzuführen. Erstens verläuft die Zwillingsbildung beim Beginn einer plastischen Deformation allgemein sehr viel deutlicher und ungestörter, als im weiteren Verlauf der Reckung. Deshalb ist es verständlich, daß *Carpenter* und *Elam* sie nach einer sehr geringen Deformation viel deutlicher beobachten konnten, als *Adcock* nach der ungleich stärkeren Deformation des Walzvorganges. Zweitens rekristallisiert reines Zinn bereits bei gewöhnlicher Temperatur, und es

[1]) Diese Frage haben besonders sorgfältig *Carpenter* und *Elam* studiert, Journ. of the Inst. of Metals 1920, Bd. 2.

ist deshalb möglich, daß auch bei der von *Carpenter* und *Elam* benutzten Legierung mit 1,5 % Antimon sich bereits bei gewöhnlicher Temperatur die allerersten Anfänge der Rekristallisation bemerkbar gemacht haben, die zur deutlichen Entwicklung der Zwillinge geführt haben. Bei der nachfolgenden Erhitzung gehen die Zwillingslamellen zurück und verschwinden zum Teil ganz, während die Korngrenzen keine Verschie-

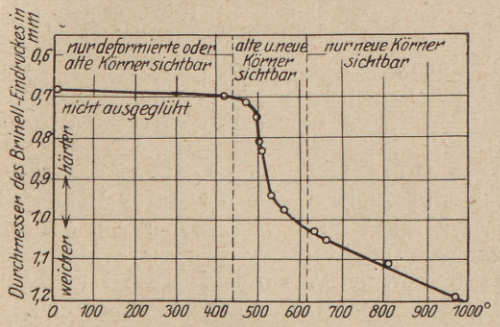

Fig. 6. Abhängigkeit der Härte des Materiales von der vorangegangenen Erhitzung.

bungen erleiden, so daß das endgültige Gefüge sich vom ursprünglichen nicht unterscheidet. Der ganze Vorgang der Rekristallisation besteht also hierbei nur in der Resorption dieser Zwillingslamellen.

Treibt man die plastische Beanspruchung etwas weiter, so daß man auf dem gereckten

Fig. 7. Zwillingslamellen in einem vorsichtig zusammengepreßten Metall.

Metall nicht mehr vereinzelte, sondern zahlreiche Gleitflächen und Zwillingslamellen antrifft, so werden bei der nachträglichen Erhitzung diese Zwillingslamellen wieder zum Teil resorbiert, zugleich verschieben sich aber die Grenzen der einzelnen Kristallite. Fig. 8 zeigt das Ergebnis einer derartigen Grenzverschiebung nach wiederholter Erhitzung. Man sieht zunächst die durch eine dicke Grenzlinie voneinander getrennten drei ursprünglichen großen Kristallite *A*, *B* und *C*. Während der Erhitzung ist nun an der Grenze zwischen *A* und *B* anscheinend ein neuer Kristallit *D* entstanden, der bei fortgesetzter Erhitzung auf Kosten der Kristallite *A* und *B* weiter ausgewachsen ist, wie es das Grenzlinienetzwerk zeigt, und bald den Kristalliten *C* berührt. Die Beobachtung der Kristallgrenzen allein ermöglicht es uns noch nicht, etwas über das Kristallgefüge oder die Orientierung innerhalb dieser Grenzen auszusagen. So bildet das System der feinen Linien, die den Kristall *D* umgeben, die Gesamtheit seiner Begrenzungen, die er im Verlaufe der Rekristallisation nach und nach aufgewiesen hat und die sich später im Relief erhalten haben. Aus dem Bilde können wir ohne weiteres nicht die gegenwärtigen wirklichen Grenzen des Kristalls angeben. In diesem Falle hilft nun die Beobachtung der dislozierten Reflexion weiter. Wird die Oberfläche dieser Stelle vorsichtig abgeschliffen und neu geätzt, so erhält man das in Fig. 9 wiedergegebene Bild. Wie man sieht, entspricht die alleräußerste der Begrenzungsflächen den wahren Korngrenzen, man sieht aber auch *zwischen D* und *C* gar keine Korngrenze. In Wirklichkeit war also *D* gar kein neu entstandener Kristallit, sondern es ist anzunehmen, daß *C* unter der Oberfläche des Schliffes auf Kosten von *A* und *B* gewachsen und zufällig bei *D* zuerst an die Oberfläche des Schliffes gelangt ist.

Über den Richtungssinn dieser Grenzenwanderung läßt sich keine allgemeine Regel aufstellen. Weder kann man behaupten, daß etwa ein größerer Kristallit immer auf Kosten eines kleineren Nachbarn wächst, noch, daß die Verschiebungsrichtung einer Grenzfläche mit ihrer Krümmung oder Orientierung irgendwie zusammenhängt, ebenso wachsen auch nicht immer einzelne Kristalle auf Kosten aller sie umgebenden, sondern oft wächst ein Kristall auf Kosten des

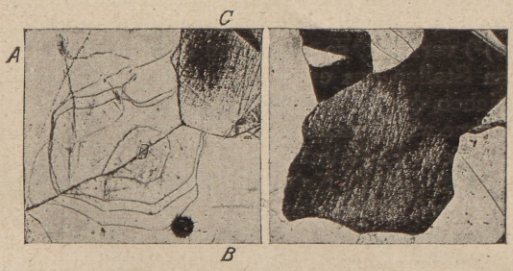

Fig. 8. Fig. 9.
Verschiebung der Kristallitgrenze nach wiederholter Erhitzung.

einen Nachbarn und wird gleichzeitig von den anderen Nachbarn resorbiert.

Da bei der Grenzenwanderung keine neuen Kristallite entstehen und einige von den vorhanden gewesenen aufgezehrt werden, so tritt hierbei immer eine durchschnittliche Vergröberung des Kornes ein.

Nach einer etwas stärkeren Deformation beobachtet man also außer der Resorption der Deformationszwillinge als zweiten Vorgang der Rekristallisation die Grenzenwanderung der Kristallite und damit ein Kornwachstum.

Die systematische Beobachtung der Rekristallisation nach stärkeren Reckungen stößt, wie bereits oben erwähnt, auf außerordentliche Schwierigkeiten. Die Unmöglichkeit, dem Metall im Innern eine einheitliche Deformation aufzuprä-

gen, macht sich immer unangenehmer bemerkbar; es treten immer stärker einzelne Flächen und Gebiete hervor, die offenbar sehr große plastische Deformationen erlitten haben, während Nachbargebiete nur sehr erheblich weniger in Anspruch genommen worden sind. Wir erhalten stets ein Rekristallisationsbild, das, wie wir es am Beispiele der Arbeit von *Adcock* verfolgt haben, der unmittelbaren systematischen Deutung große Schwierigkeiten bereitet. Einigermaßen übersichtlich werden die Verhältnisse erst wieder bei ganz hohen Beanspruchungsgraden des Materials, bei Deformationen, bei denen die Dicke oder der Durchmesser des Arbeitsstückes bis auf wenige Prozente des Ursprünglichen herabgesetzt werden. In einem so weitgehend verarbeiteten Metalle kann man durch mikroskopische Beobachtung der Struktur oft so gut wie gar nichts wahrnehmen. Die Rekristallisation erfolgt an solchen Metallen erfahrungsgemäß viel gleichmäßiger, als nach geringerer Beanspruchung.

Das Rekristallisationsbild, das sich bei einem derartigen Material, z. B. bei sehr weit heruntergewalztem Zinn, bietet, ist etwa folgendes[1]): Unmittelbar nach dem Walzen zeigt das Zinn eine sehr verworrene Struktur. Außer ganz vereinzelten, undeutlichen Helligkeitsunterschieden ist auf der Metallfläche nichts wahrzunehmen. Bleibt nun das Zinn bei gewöhnlicher Temperatur liegen, so findet in ihm während weniger Stunden eine Rekristallisation statt. Wenn man diese mit einem geeigneten Ätzmittel (Kaliumchlorat und Salzsäure)[2]) verfolgt, so sieht man folgendes: Von einzelnen Stellen aus entwickeln sich immer stärker Anzeichen der dislozierten Reflexion, zunächst jedoch ohne wahrnehmbare Korngrenzen. Erst wenn die Gebiete bestimmter dislozierter Reflexionen, also bestimmter Kristallorientierungen, aneinanderstoßen, erhält man ein Strukturbild mit scharf wahrnehmbaren Korngrenzen, das etwa der Fig. 2 entspricht, nur sehr viel feinkörniger ist. Dieses zunächst entstehende Gefüge entwickelt sich sehr schnell und bei einem gegebenen Arbeitsstück weitgehend unabhängig von den Bedingungen, unter denen sich die Rekristallisation vollzieht. Ob wir also das Zinn bei gewöhnlicher Temperatur rekristallisieren lassen, bei 100 ° oder sogar bei 150 °, das erste deutliche Bild, das wir erhalten, ist immer genau dasselbe.

Erhitzt man Zinn auf höhere Temperaturen oder viel längere Zeit, so verändert sich das Kristallgefüge weiter. Vermutlich sind es Korngrenzenwanderungen (die den von *Carpenter* und *Elam* beobachteten völlig analog sind), die zu einer allmählichen Vergrößerung der Kristallite führen. So erhält man bei Zinn beispielsweise bei 180 ° etwa das in Fig. 2 dargestellte Gefüge, das von dem eines gegossenen Metalles nicht zu unterscheiden ist. Dieser zweite Vorgang verläuft jedoch ungleich langsamer als der erste. So genügt zur Bildung des primären Korngefüges bereits die Erhitzung auf 100 ° während 30 Sekunden; eine merkliche Vergröberung dieser Struktur wird aber erst bei ununterbrochener Erhitzung auf 100 ° während mehrerer Stunden wahrnehmbar. Dieser Geschwindigkeitsunterschied zusammen mit der auffallenden Tatsache, daß das primäre Korngefüge von den Temperaturbedingungen so weit unabhängig ist, führt zu dem Schluß, daß die Entwickelung des primären Gefüges und das Kornwachstum zwei verschiedene Prozesse sind, aus denen demgemäß der normale Rekristallisationsvorgang eines stark gereckten Metalles besteht.

Die Gesamtheit unserer Kenntnisse über die Abhängigkeit der Größe der durch Rekristallisation entstandenen Kristallkörner von der vorangegangenen Kaltreckung, von der Erhitzungstemperatur usw. hat *Czochralski* in seinem bekannten Rekristallisationsdiagramm zusammengefaßt. Mit

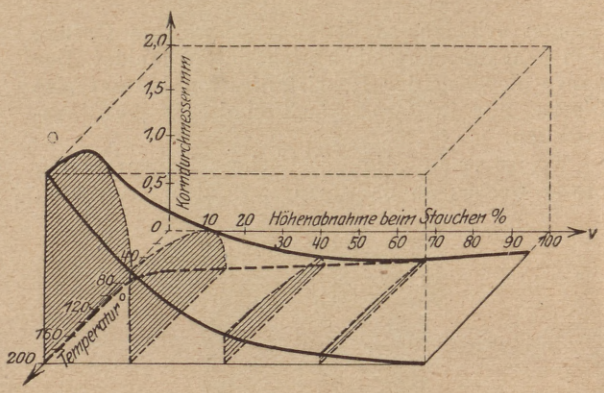

Fig. 10. Rekristallisationsdiagramm von *Czochralski*.

zunehmender Reckung verläuft die Rekristallisation immer lebhafter, d. h., sie setzt bei immer tieferen Temperaturen mit merklicher Geschwindigkeit ein. Das bei einer bestimmten Temperatur entstehende Kristallgefüge ist um so feinkörniger, je höher der Grad der vorangegangenen Reckung gewesen ist. Die Abhängigkeit der Kristallgröße von der Temperatur bei gleichen Reckungsgraden besteht einfach darin, daß die Korngröße mit der Temperatur wächst. Diesen Zusammenhang zeigt das Diagramm von *Czochralski* in Fig. 10[1]). Bemerkenswerterweise enthält

[1]) *Masing*, Zeitschr. f. Metallkunde 1921.
[2]) *Czochralski* a. a. O.

[1]) Int. Zeitschrift f. Metallographie 8, 1, 1916. Diese Figur gibt das Diagramm von *Czochralski* in seiner ursprünglichen Form wieder. Die Gestalt der Fläche beim Kaltreckungsgrad Null und der graphische Ansatz, daß die Korngröße beim Beginn der Rekristallisation gleich Null zu setzen ist, bedeuten theoretische Extrapolationen, denen kein Tatsachenmaterial zugrunde liegt. In der letzten Zeit hat *Czochralski* diese Extrapolationen abgeändert. Es erübrigt sich jedoch, hierauf näher einzugehen, weil der physikalische Gehalt des Diagramms sich auf seine mittleren, experimentell zugänglichen Teile beschränkt und eine Extra-

dieses Diagramm nicht die Zeit, während bei der Rekristallisation doch selbstverständlich ein Kristallgefüge nicht auf einmal, sondern erst allmählich entsteht. Die Möglichkeit, die Zeit aus der Darstellung auszuscheiden, beruht auf einem sehr einfachen Zeitgesetz der Rekristallisation. Danach vollzieht sich die Rekristallisation bei einer konstant gehaltenen Temperatur in den ersten Minuten recht schnell und klingt dann ab, so daß praktisch bereits nach ½—1 Stunde die Geschwindigkeit zu vernachlässigen ist. Man hat also bei der Rekristallisation etwa nach einstündiger Erhitzung das von der weiteren Erhitzung auf dieselbe Temperatur unabhängige Gefüge vor sich.

Mit diesem Zeitgesetz ist ein anderes verknüpft, das die Abhängigkeit der Rekristallisationsgeschwindigkeit von der Temperatur regelt. Dieselbe wächst mit steigender Temperatur so schnell, daß es für das endgültige Gefüge ganz gleichgültig ist, welchen niedrigeren Temperaturen das Material im Verlaufe der Erhitzung ausgesetzt gewesen ist und für wie lange, resp. wie groß die Erhitzungsgeschwindigkeit war. Diese Voraussetzung trifft für eine große Reihe von Fällen zu (die wir als den normalen Verlauf der Rekristallisation betrachten wollen), aber in einer Reihe von Fällen gelten sie nicht. Dann verliert auch das auf ihnen fußende Diagramm seine Gültigkeit.

5.

Wir haben oben eine Reihe von Rekristallisationserscheinungen bei gereckten Metallen beschrieben und wollen nun versuchen, diese Vorgänge theoretisch zu deuten, und zwar zunächst am starkgereckten Metall. Die Erscheinungen, die an einem solchen beobachtet worden sind, bestehen, wie erwähnt, erstens in der Ausbildung des primären Kornes, zweitens in dem sich daran anschließenden Kornwachstum. Zunächst: Woher und auf welche Weise entsteht in einem kaltgereckten Metall das vorher nicht wahrnehmbare primäre Rekristallisationsgefüge? In den Metallen von mittleren Reckungsgraden sind die Gleitflächen, an denen man bei der Rekristallisation die winzigen, anscheinend neu entstehenden Kristalle beobachtet, die Stellen der höchsten Deformation. Vermutlich ist die obige Frage daher mit der nach der Entstehung auch dieser Kriställchen identisch.

Da vorher an den betreffenden Stellen keine Kristalle mikroskopisch wahrzunehmen sind, haben verschiedene Forscher, und zwar in erster Linie *Czochralski*[1]) und *Tammann*[2]) den naheliegenden Schluß gezogen: Diese Kristalle entstehen bei der Rekristallisation tatsächlich neu durch Kernbildung. Unter Kernbildung versteht man etwas Analoges der Entstehung der Kristallkeime in unterkühlten Schmelzen usw. Das Wesentlichste und Charakteristischste ist ihr spontaner Charakter.

Der Umstand, daß in der Struktur eines gereckten Metalles zahlreiche Raumgitterelemente der mikroskopischen Beobachtung entgehen, zwingt uns jedoch zum Schlusse: Die Wahrnehmung von neuen Kristalliten bei der Rekristallisation beweist noch keineswegs, daß diese nicht bereits vor der Rekristallisation bestanden haben, wenn auch als kleinere Keime. Ihre Fähigkeit zur dislozierten Reflexion kann aus irgendwelchen Gründen so herabgesetzt gewesen sein, daß man sie nicht als Keime erkennen konnte. Man kann sich ja nun weiter auf den Standpunkt stellen: Eine Kernbildung, wenn sie auch experimentell nicht nachgewiesen ist, ist doch eine so zweckmäßige und natürliche Annahme, daß man sie schon aus diesem Grunde als das Wahrscheinlichste akzeptieren sollte. Der Verfasser kann diesen Standpunkt nicht billigen; im Gegenteil, die Annahme der Kernbildung bei der Rekristallisation macht recht große theoretische Schwierigkeiten. Die Kernbildung, wie wir sie sonst in unterkühlten Schmelzen oder in metastabilen Kristallarten beobachten, ist mit einem recht erheblichen Stabilitätssprung zwischen der metastabilen und der stabilen Phase verknüpft, der sich z. B. in Unterschieden des Dampfdruckes und der thermodynamischen Gleichgewichtsfunktionen äußert. Etwas Derartiges war bei gereckten Metallen trotz aller Bemühungen jedoch nicht nachweisbar. Zwar ist ihr Potential etwas unedler als das der rekristallisierten Metalle, jedoch ist dieser Unterschied so minimal (einige zehntausendstel Volt), daß er sich beinahe der Beobachtung entzieht und unvergleichlich geringer ist als bei den üblichen Fällen der Kernbildung. Auch ändern sich die rein physikalischen Eigenschaften der Metalle bei der Kaltreckung so wenig und in einer Art und Weise, die oft auf andere Ursachen zurückzuführen sind, wie z. B. Bildung von Hohlräumen, Gleichrichtung der Kristallite usw., daß es außerordentlich schwer fällt, das kalt gereckte Metall im thermodynamischen Sinne als eine andere Phase zu betrachten, innerhalb derer nun die ursprüngliche Phase des rekristallisierten, natürlichen Metalles sich zurückbildet. Die Annahme von *Tammann*, daß zur Kernbildung bei der Rekristallisation gar kein derartiger Stabilitätssprung erforderlich ist und daß sie lediglich eine Folge der unter gewissen Bedingungen stattfindenden Berührung von Kristalliten sein kann, bedeutet nach Ansicht des Verfassers ein weitergehendes Novum und kann deshalb, ohne daß damit die Möglichkeit einer solchen Behauptung a priori bestritten wer-

---

polation zu den Grenzwerten nur dann einen Sinn hat, wenn man genaue Vorstellungen über den Mechanismus des Beginnes der Rekristallisation usw. hat.

Czochralski hat seine Beobachtungen meistens an gestauchtem Metall gemacht. Deshalb wird in seinen Diagrammen meistens der Stauchgrad (prozentische Höhenabnahme) als Maß der Kaltreckung angeführt.

[1]) Z. B. Z. f. Int. Met. 8, 1916.

[2]) Lehrbuch der Metallographie, 2. Auflage.

den soll, nicht als eine geeignete Grundlage für die Erklärung der Rekristallisation, die ja immer eine Zurückführung auf Bekanntes sein soll, betrachtet werden. Diese Schwierigkeiten der Annahme einer Kernbildung führen den Verfasser dazu, die Kernbildung bei der Rekristallisation nur soweit anzunehmen, als sie durch experimentelle Beobachtungen unmittelbar gegeben wird und nicht weiter. Aus der Wahrnehmung neuer Kristallite bei der Rekristallisation dürfen wir also noch nicht auf eine Kernbildung schließen.

Wenn nun aber die neu beobachteten Kristalle nicht durch Kernbildung entstanden sind, so muß die Frage, wieso sie vorher sich der Beobachtung entziehen konnten, und in welcher Weise sie sich überhaupt im Verlaufe der Kaltreckung erhalten haben, genauer untersucht werden. Zu ihrer Beantwortung müssen wir auf die Vorgänge bei der Kaltreckung etwas näher eingehen, woraus sich dann auch die Möglichkeit ergeben wird, die bisher beschriebenen Erscheinungen der Rekristallisation in allen Einzelheiten zu erklären.

6.

Ewing und *Rosenhain* und mit besonderem Nachdruck *Tammann*[1]) haben auf die Schutzmaßnahmen hingewiesen, die ein Kristall oder ein Kristallaggregat bei der Deformation trifft, um sein Raumgitter vor der Zerstörung zu bewahren. Diese Schutzmaßnahmen bestehen darin, daß das Fließen eines kristallinischen Körpers nicht gleichmäßig erfolgt, sondern daß innerhalb eines Kristalles nur längs gewisser Flächen Parallelverschiebungen stattfinden (Translation) oder aber ganze Kristallteile in Zwillingslagen umklappen (einfache Schiebungen), während die übrige Masse des Metalles keine oder nur eine geringe Deformation erleidet. Die Spuren dieser Art der Gleitung lassen sich auch in stark kaltgereckten Metallen erkennen, wie z. B. in der schrägen Streifung in der Fig. 3 aus der Arbeit von *Adcock*. Allerdings wird diese Streifung mit zunehmendem Reckungsgrade undeutlicher und verworrener.

Die Erhaltung eines wenn auch nur in großen Zügen intakten Raumgitters in der ganzen Metallmasse, wie sie die Röntgenbeobachtungen erweisen, läßt sich auch rein formal nur so deuten, daß das Fließen eines kristallinischen Körpers nicht gleichmäßig wie das einer Flüssigkeit, sondern längs bevorzugter Verschiebungsflächen erfolgt[2]).

Die große Bedeutung der einfachen Schiebung und in erster Linie der Translation bei der Metallreckung steht außer Frage, aber sie reicht nicht aus zur Erklärung der mannigfaltigen Deformationen der Kristallite innerhalb eines Metallkörpers. Darauf weisen die vielfach beobachteten Krümmungen in den Gleitflächen hin (*Polanyi*)[1]). Darauf deutet oft die Gestalt der bei der Deformation entstehenden Zwillingslamellen, die nicht, wie das erwartet werden sollte, den Kristall mit parallelen Begrenzungsflächen durchsetzen, sondern meistens gegen die Kristallgrenzen spitz zulaufen, Fig. 9, was mit einer reinen einfachen Schiebung nicht verträglich ist. Wir müssen also neben den Gleitungsdeformationen noch Krümmungs-, Torsions- oder ähnliche Deformationen des Raumgitters annehmen. Daß solche Deformationen tatsächlich auftreten, wird vielleicht am überzeugendsten durch Beobachtung von gebogenen Einkristallgebilden bestätigt, in denen dann sowohl röntgenometrisch als auch mikroskopisch eine kontinuierliche Änderung der Raumgitterorientierung von Ort zu Ort beobachtet wird, die sich wiederum aus rein geometrischen Gründen nicht auf Translation zurückführen läßt[2]).

Wir kommen zu folgender Vorstellung: Der Kaltreckungsvorgang wird in erster Linie von dem Mechanismus der Gleitung getragen, wobei allerdings längs der Gleitflächen vermutlich stärkere Störungen, evtl. Wirbelbewegungen des Raumgitters auftreten. Außerdem treten aber in der ganzen Metallmasse komplizierte und schlecht definierte Krümmungs- und Torsionsdeformationen des Raumgitters auf, die *Polanyi* als „Knüllungen“ bezeichnet hat. Die Gleitebenenbildung im Zusammenhang mit den sie begleitenden Knüllungsstörungen bedeutet eine im Verlaufe der Kaltreckung fortschreitende Zerteilung der einheitlich orientierten Raumgitterbezirke. Allerdings ist diese Zerteilung nicht so zu denken, daß allmählich ein immer kleiner werdendes Aggregat von wohl abgegrenzten Kristalliten entsteht, sondern das kaltgereckte Metall besteht aus einer großen Anzahl von Raumgitterbezirken mit verschieden hohem Zwangszustande und mit mehr oder weniger kontinuierlichen Richtungsübergängen. Was den physikalischen Zustand der geknüllten Raumgitterteile betrifft, so ist es nach den Ausführungen von *Polanyi* durchaus wahrscheinlich, daß sie sich im Zustande starker elastischer Beanspruchung befinden[3]). Das Verschwinden der dislozierten Reflexion bei der Kaltreckung kann wohl als Folge dieses Zustandes betrachtet werden.

Wir nehmen an, daß der durch die Knüllung hervorgerufene Zwangszustand thermodynamisch unbeständiger ist als der normale Zustand. Der Zwangszustand strebt in den normalen Zustand zurückzukehren, wird jedoch daran durch die dem

[1]) Lehrbuch der Metallographie, 1. u. 2. Auflage; dort auch Literatur angegeben.

[2]) Die Beweiskraft der Röntgenbefunde wird von einigen Seiten bezweifelt, jedoch, wie wir glauben, ohne genügenden Grund.

[1]) Z. f. Physik *12*, 58, 1922 usf.

[2]) Arbeiten von *Groß*, *Polanyi* und *Czochralski* (erscheinen demnächst in der Zeitschrift f. Metallkunde).

[3]) Diese Beanspruchung kann nach unseren Vorstellungen innerhalb der Raumgitterelemente bis zum hundertfachen Betrage der technisch festgestellten Bruchspannungen betragen. Der Deformationszustand des kaltgereckten Metalles ist also als mikroelastisch und zugleich makroplastisch zu bezeichnen.

Kristallzustand eigentümliche Trägheit gehindert, weil ein Kristall als ein über weitere Bezirke hinweg ziemlich stark gekoppeltes System anzusehen ist, aus dem die Lösung einzelner Atome oder Atomgruppen zunächst unmöglich ist.

Wie findet nun in einem solchen Gebilde die Rekristallisation statt? Wenn wir uns den Zwangzustand des Raumgitters innerhalb eines Metalles in Abhängigkeit von der räumlichen Verteilung darstellen, so erhalten wir etwa die Fig. 11[1]). Neben verhältnismäßig spitzen Maximis des Zwangszustandes, wie sie der unmittelbaren Nähe der bevorzugten Gleitflächen entsprechen, erhalten wir dazwischenliegend Minima. Diese Minima sind thermodynamisch beständiger als die Maxima, und die diesen Minimis angrenzenden Raumgittergebiete werden deshalb das Bestreben haben, sich dem Zustand der Minima anzugliedern. Die Minima haben eben die Bedeutung von Rekristallisationskeimen, die bei genügender Temperaturerhöhung die oben erwähnte Trägheit des Raumgitters von vornherein beseiti-

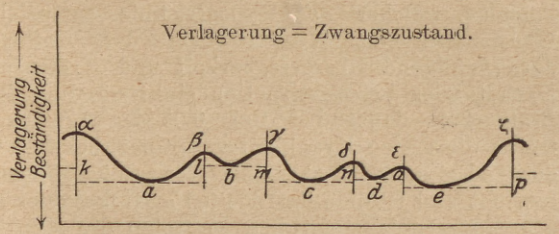

Fig. 11. Schema des Zwangszustandes in einem kaltgereckten Metalle.

gen und die zur Ausheilung des umgebenden Raumgittergefüges führen. Wenn wir uns jedoch vorstellen, daß diese als Kerne wirkenden Raumgitterbezirke sich ihre Umgebung Netzebene für Netzebene angliedern, und ferner den oben erwähnten starken Koppelungszustand des Raumgitters berücksichtigen, so erscheint es plausibel und notwendig, daß die sich an den Kernen anlagernden Kristallschichten im wesentlichen den Zwangszustand des Kernes annehmen, d. h. also, daß eine vollständige Beseitigung des Zwangszustandes auf diese Weise nicht möglich ist.

Wenn wir nun zu unserer Fig. 11 zurückkehren, so werden wir demnach den Rekristallisationsvorgang folgendermaßen darstellen. Der Stabilitätszustand der Minima breitet sich, zugleich unter der Aufprägung der in den Kernpunkten herrschenden Orientierungen, auf die Umgebung aus, bis derartig einheitlich orientierte Gebilde sich gegenseitig berühren, wie das die punktierten Linien der Fig. 11 darstellen. Der erste Vorgang der Rekristallisation ist damit abgeschlossen. Wir wollen nun verfolgen, in welcher Weise sich dieser erste Vorgang bei der Beobachtung darstellt. Wir haben gesehen, daß die erste Andeutung von neu wahrnehmbaren Kristalliten nicht durch ihre Korngrenzen, sondern durch Ätzfigurenbildungen (dislozierte Reflexion) erfolgt. Im Zusammenhang mit unserem Anschauungsbilde ist das durchaus verständlich. Die dislozierte Reflexion kann ja bereits auftreten, sobald nur genügend große Oberflächenelemente einheitlich orientiert sind. Die Beobachtung der deutlichen Korngrenzen wird aber erst möglich, wenn wohldefinierte, verschieden orientierte Raumgitterbezirke aneinander stoßen. Auch nach der entwickelten Anschauung muß also, durchaus in Übereinstimmung mit den Tatsachen, zuerst die Ätzbarkeit und dann die Korngrenzenbildung wieder auftreten.

Ferner ist die Zahl der Minima des Zwangszustandes eines gereckten Metalles gegeben, damit aber nach dem entwickelten Bilde das zuerst entstehende Rekristallisationsgefüge. Dieses ist, wie auch die Beobachtung zeigte, von den Bedingungen der Rekristallisation unabhängig.

Der weitere Vorgang der Korngrenzenwanderungen spielt sich nun in einer ähnlichen Weise ab, indem Bezirke mit größerer Beständigkeit auf Kosten der weniger beständigen Nachbarn wachsen. Wie man das ohne weiteres aus der Fig. 11 ersehen kann, führt dieser Vorgang notwendigerweise zur ständigen Vergrößerung des durchschnittlichen Kristallkornes. Daß dieser zweite Vorgang so viel langsamer als der erste Vorgang der Herausbildung des primären Kornes verläuft, erklärt sich vermutlich erstens aus dem geringeren Beständigkeitsunterschied der nunmehr entstandenen Kristallite und zweitens aus dem bei der Grenzenwanderung notwendig eintretenden sprunghaften Orientierungswechsel, der wohl als ein Hindernis zu betrachten ist.

Meistens scheint die Rekristallisation sich auf die beiden geschilderten Vorgänge zu beschränken. Wir haben gesehen, daß nach der entwickelten Anschauung dieser normale Rekristallisationsvorgang nur so weit die Beseitigung des Zwangszustandes ermöglicht, als sie den Zwangszustand von wenigstens einigen der ursprünglich vorhandenen Minima nicht unterschreitet. Daraus, daß auch in der Nähe des Schmelzpunktes keine anderen Rekristallisationsvorgänge auftreten, ist zu folgern, daß entweder der Zwangszustand der erhaltenen Minima ein so geringer ist, und von vornherein ein so geringer war, daß er sich bis nahe an den Schmelzpunkt erhalten kann, oder aber, daß die oben gemachte Annahme, daß ein Minimum bei der Einverleibung seiner Umgebung derselben seinen Zwangszustand voll aufprägt, nicht genau zutrifft. Bei der Betrachtung der Anomalien der Rekristallisation werden wir weitere Tatsachen zur Klärung dieser Frage bringen.

Es scheint, daß die geschilderten Anschauun-

[1]) Diese Darstellung ist notwendigerweise sehr unvollkommen und einseitig und gibt nur ein rohes Bild des kaltgereckten Metalles. Insbesondere sind in ihr die Orientierungen und überhaupt die materiellen Eigenschaften der Raumgitterelemente nicht zur Darstellung gelangt, obgleich diesen sicher eine große Bedeutung zukommt. Siehe *Masing*, Zeitschr. f. Metallkunde 1921.

gen bereits einen ziemlich guten und sicheren Überblick über die Erscheinungen der normalen Rekristallisation geben und sich den zum Teil recht verwickelten experimentellen Zusammenhängen gut anpassen. Allerdings sind die Anschauungen zunächst vorwiegend formaler Natur, und es ist im Obigen keine atomistische Vorstellung des Rekristallisationsvorganges gegeben worden. Das ist gewiß eine Schwäche, die heute, in einer extrem atomistisch denkenden Zeit, besonders fühlbar ist. In einer zweiten Arbeit sollen in dieser Richtung einige Ansätze gemacht werden.

Über Ursprung, Schicksal und Höhe des Blutzuckers.

Von E. J. Lesser, Mannheim.

I.

Die Frage nach der Höhe des Blutzuckers wird gewöhnlich unter der Überschrift „Die Regulation des Blutzuckers" behandelt. Und wenn man von der „Regulation des Blutzuckers" spricht, so denkt man zunächst daran, daß dem Blutzucker im allgemeinen bei einer bestimmten Tierart und in einer bestimmten Jahreszeit eine gewisse durchschnittliche Höhe zukommt. Hat in einem Falle der Blutzucker dauernd einen anderen Wert, etwa einen erheblich höheren, so ist das dem betreffenden Organismus „schädlich" und führt schließlich seinen Tod herbei. Es müssen also — schließt der naive Teleologe — Einrichtungen vorhanden sein, welche das verhindern und den Blutzucker „regulieren", d. h. ihn auf seiner normalen Höhe halten, welche freilich für die verschiedenen Klassen der Wirbeltiere außerordentlich verschieden ist. In dem Ausdruck „Regulation des Blutzuckers" ist also eine ganz bestimmte Meinung über die Welt der Organismen bereits enthalten, und zwar ist dies die folgende: Sie seien „zweckmäßig" konstruiert und ihr *Zweck* sei „zu leben". Daher sollte in Zukunft dieser Ausdruck nicht mehr gebraucht werden, denn ob die Welt der Organismen überhaupt einen Zweck habe und ob sie gar diesem Zweck entsprechend höchst weise konstruiert sei, das ist eine Sache, welche, wenn überhaupt von Menschen, dann sicher nicht von Physiologen entschieden werden kann. Für den Physiologen kann es nur die Frage geben, woher stammt der Blutzucker? Was wird aus ihm? Wie kommt es, daß er in der erdrückenden Mehrzahl der Fälle nur sehr geringe Schwankungen um einen Mittelwert aufweist? Wann ist er beträchtlich höher? Wann beträchtlich niedriger, als diesem Mittelwert entspricht? Diese Fragen in den kurzen Begriff der „Regulation des Blutzuckers" zusammenzufassen, ist zwar gebräuchlich und bei der philosophischen Sorglosigkeit der Biologen nicht weiter verwunderlich. Wer aber, mit Variation des bekannten Ausspruchs von *Kant* über die Sicherheit in den Naturwissenschaften, sich zu der Meinung bekennt, daß nur soviel Sicherheit in der Physiologie zu finden sei, als Physik und Chemie in ihr enthalten wäre, der muß alle Ausdrücke, in welchen teleologische Begriffe maskiert vorhanden sind, vermeiden, denn er hat nur eine Aufgabe: Kausalketten aufzudecken.

II.

Die Frage: woher stammt der Blutzucker? kann kurz und eindeutig beantwortet werden; er stammt aus der Leber. *F. C. Mann* hat dies durch Versuche bewiesen, in denen er die Folgen der totalen Leberextirpation und ihre Verhütung beschrieben hat. Die totale Leberextirpation wird von Hunden etwa 8 Stunden überlebt. Dann geht das Tier unter charakteristischen Krankheitserscheinungen zugrunde, dem Symptomenkomplex, welcher der Hypoglykämie entspricht (Muskelschwäche, Verschwinden der Reflexe, darauf folgend Übererregbarkeit und Krämpfe). Nach totaler Leberextirpation sinkt nämlich der Blutzucker dauernd. Bei 0,05 % Blutzucker treten die ersten Krankheitssymptome, bei 0,03 % der Tod ein. Wird aber dem Tier pro kg Körpergewicht und Stunde 0,25 bis 0,5 g Glukose per os oder intravenös zugeführt, so treten die Krankheitssymptome der Hypoglykämie nicht ein. Es gelingt, die Tiere statt 8 Stunden bis zu 34 Stunden am Leben zu erhalten. Tiere, die infolge der Hypoglykämie bereits Atemstillstand bei noch schlagendem Herzen aufwiesen, konnten durch künstliche Atmung und intravenöse Glukoseinjektion in kurzer Zeit wieder „normal" gemacht werden. Außer Glykose heilt nur noch Maltose und Mannose die Hypoglykämie. Zahlreiche andere chemische Substanzen, darunter Milchsäure, Alkalien, Aminosäuren, anisotonische Salzlösungen waren alle unwirksam. Diese Versuche lehren also, *daß der Blutzucker aus dem Blute zum größten Teil verschwindet, wenn die Leber fehlt.* Außerdem gestatten sie die Zuckermenge annähernd zu bestimmen, welche pro Stunde aus der Leber in das Blut eines ruhenden Hundes übergeht. Wir werden diese Größe derjenigen ungefähr geichsetzen dürfen, welche einem leberlosen Tiere zur Verhütung der hypoglykämischen Krankheitserscheinungen zugeführt werden muß. Diese beträgt 0,25 bis 0,5 g pro kg Tier und Stunde. Da das Lebergewicht eines mit Fleisch gefütterten Hundes 3,3 % des Körpergewichtes ausmacht, so würden 1 kg Tier 33 g Leber entsprechen, welche pro Stunde mindestens 250 mg Traubenzucker in das Blut übertreten lassen. 100 g Leber würden pro Stunde eine Zuckermenge von mindestens 0,75 g abzugeben haben, was einem Glykogenverlust von rund 0,7 % des Lebergewichts entsprechen würde. Bei einem Gly-

kogengehalt von 7 % würde also die Leber in 10 Stunden glykogenfrei werden müssen, wenn in der Leber keine Glykogensynthese aus Nahrungskohlehydrat oder anderen Stoffen, welche keine Kohlehydrate sind, stattfände.

III.

Die Prozesse, durch welche der Blutzucker im Blute abnimmt, können zweierlei Art sein. Der Blutzucker kann im Blute durch Glykolyse unter Bildung von Milchsäure, Essigsäure, Ameisensäure und Kohlenoxyd abnehmen (*Slosse*), oder er kann aus dem Blute in die Organe übergehen, in die Muskeln, die Drüsen, das Zentralnervensystem. In diesen kann der aus dem Blute eingewanderte Zucker entweder polymerisiert und zu Glykogen aufgebaut oder durch mehr oder weniger komplizierte chemische Prozesse schließlich zu Kohlensäure und Wasser verbrannt werden. Genau erforscht sind die Anfangsstadien dieser glykolytischen Prozesse in den Geweben besonders beim quer gestreiften Muskel durch *Fletcher* und *Hopkins*, *A. V. Hill*, *Parnas* und *Meyerhof*. Es hat sich als endgültiges Resultat ergeben, daß bei der Muskeltätigkeit aus dem Glykogen zunächst Milchsäure wird, welche zum Teil oxydativ zu Kohlensäure und Wasser abgebaut, zum Teil zu Glykogen regeneriert wird. Daß das Blut beim Durchfließen durch einen tätigen Muskel Zucker verliert, ist durch die Versuche von *Chauveau* und *Kaufmann* bewiesen worden. Ebenso ist bekannt, daß das herausgeschnittene schlagende Herz des Warmblüters, das von künstlicher Nährlösung durchflossen wird, dieser Zucker entnimmt. Wenn also einerseits aus der Leber dem Blute Zucker zugeführt wird, strömt dieser andererseits in die Gewebe ab. Ein Konstantbleiben der Höhe des Blutzuckerspiegels ist daher nur möglich, wenn der Zuckerzufluß aus der Leber in das Blut stets ebenso groß ist als der Zuckerabfluß in die Gewebe. Da nun ein sehr wichtiger Faktor bei dem Zuckerabstrom in die Gewebe die Muskeltätigkeit ist (Versuche von *Chauveau* und *Kaufmann*), diese aber außerordentlich wechselnd ist — werden doch die Muskeln „willkürlich" bewegt —, so muß auch der Zuckerzustrom aus der Leber in das Blut außerordentlich variieren, wenn der Blutzucker auch nur annähernd konstant bleiben soll.

IV.

Die Zuckerabwanderung aus dem Blute kann durch Vergiftung der Tiere mit Phlorizin sehr stark vermehrt werden. Das Phlorizin wirkt dabei in erster Linie auf die Nieren, welche zuckerdurchlässig werden und beträchtliche Zuckermengen in den Harn übertreten lassen. Da nun hierbei die Höhe des Blutzuckers sich kaum verändert, so muß aus der Leber entsprechend dem Verlust des Zuckers im Harn mehr Zucker ins Blut übergetreten sein. Es erscheint daher die Geschwindigkeit, mit der Zucker aus der Leber in das Blut übertritt, von dem Blutzuckergehalt des die Leber durchströmenden Blutes abhängig zu sein. Über die Art dieser Abhängigkeit, über den Mechanismus dieses Vorgangs sind wir aber noch völlig im Unklaren. Dagegen sind einige Beeinflussungen der Höhe des Blutzuckers bekannt, deren Mechanismus als bis zu einem gewissen Grade aufgeklärt angesehen werden kann.

V.

Bei dem Übertritt von Zucker aus der Leberzelle in das Lebervenenblut handelt es sich um einen Diffusionsprozeß, dessen Geschwindigkeit namentlich vom Gefälle, d. h. von der Konzentrationsdifferenz des Zuckers in der Leberzelle und dem Blute abhängig ist. Wenn die Zuckermenge in der Leberzelle zunehmen soll, so muß bei sonst gleichen Verhältnissen die Zuckerbildung in ihr zunehmen. Diese Zuckerbildung ist ein enzymatischer Vorgang. Bei einer normalen glykogenhaltigen Leber stammt der ganze in ihr nachweisbare Zucker aus dem Glykogen, aus dem er durch die Leberdiastase gebildet wird. Enzymatische Prozesse können in ihrer Geschwindigkeit durch verschiedene Faktoren beeinflußt werden. Durch die Temperatur, die aktuelle Reaktion, Kofermente oder Aktivatoren, Veränderung der Konzentration des Katalysators. Die Temperatur in der Leberzelle ist beim Warmblüter konstant und kann beim Kaltblüter experimentell konstant gehalten werden, hat also keine Bedeutung, dagegen muß die Wasserstoffzahl in der Leber eine Rolle spielen. Es ist von Wichtigkeit, sich über die Größe klar zu werden, um welche die Geschwindigkeit der Zuckerbildung in der Leber durch Änderung der Wasserstoffzahl im Gewebe geändert werden kann. Die Wasserstoffzahl in der Froschleber liegt nach *Pechstein* bei 7,1, nach eigenen Versuchen mit anderer Methodik ist sie saurer als 7,08 und alkalischer als 6,92. Das Optimum der Chlordiastase liegt bei 6,8. Durch Änderung der Wasserstoffzahl von 7,16 auf 6,8 fand *Lengfeldt* in vitro eine Erhöhung der Geschwindigkeit der Glykogenhydrolyse im Verhältnis von 1 zu 1,6. Ich fand an der herausgeschnittenen Froschleber eine Beschleunigung gleicher Größenordnung. Wurde die Leber durch Durchströmung mit gepufferter Kochsalzlösung von der p_H des Optimums der Chlordiastase künstlich gesäuert, so fand sich ein Anwachsen der Zuckerbildung im Verhältnis von 1 : 1,8. Die Beeinflussung der Geschwindigkeit der Zuckerbildung in der Leberzelle durch Änderung der Wasserstoffzahl ist also von gleicher Größenordnung wie die im Reagenzglase erhaltbare. Dagegen erscheint es fraglich, ob intra vitam jemals in der Leberzelle eine so starke Verschiebung der p_H eintritt; wahrscheinlich wird die Rolle, welche die Änderung der p_H bei der *physiologischen* Zuckerbildung spielt, häufig überschätzt. Denn selbst die Verschiebung der Reaktion der die Leber durchströmenden Flüssigkeit auf das

Optimum der Diastase bewirkt noch keine Verdoppelung der Geschwindigkeit der Zuckerbildung. Da es sich ferner in der Leberzelle immer um eine Diastasewirkung bei Gegenwart von Chlorionen handelt und außer den Einflüssen der Anionen anorganischer Salze keinerlei Aktivatoren der Diastase bekannt sind, kann eine starke Beschleunigung der Geschwindigkeit der Zuckerbildung in der Leberzelle nur durch Vermehrung der Katalysatorkonzentration, durch Vermehrung der wirksamen Diastase in der Leberzelle bewirkt werden.

VI.

Das Nächstliegende wäre nun, jedesmal, wenn eine Vermehrung der Zuckerbildung in der Leberzelle nachweisbar wird, welche mehr als das Doppelte beträgt, eine Vermehrung der Diastase durch Neubildung in der Leberzelle anzunehmen. Diese Annahme kann aber die Tatsache nicht erklären, daß — mitunter nach ganz kurzer Zeit — die Zuckerbildung wieder auf den anfänglichen kleineren Wert zurückkehrt, denn irgendwelche Vorgänge, welche Diastase in der Leberzelle zerstören könnten, sind uns nicht bekannt. Daß aber bei Beeinflussungen, welche die Geschwindigkeit der Glykogenhydrolyse vorübergehend auf das Vier- bis Sechsfache steigern, bei der Rückkehr zur Anfangsgeschwindigkeit nicht mehr Diastase als gewöhnlich aus der Leberzelle ausgespült wird, ließ sich experimentell beweisen, indem die Durchspülungsflüssigkeit nach Austritt aus der Leber nicht nur quantitativ auf Zucker, sondern ebenso auf Diastase geprüft wurde. Es muß also in der Leberzelle ein Teil der Diastase unwirksam sein, aber unter bestimmten Bedingungen wirksam werden können, während ein anderer Teil dauernd wirksam ist. Ein Teil der Diastase ist „latent", wie dies *Bang* ausgedrückt hat. Wir müssen uns aber weiter fragen, warum ein Teil der Diastase latent ist. Die Antwort lautet, weil dieser Teil an Oberflächen der Zellstruktur adsorbiert ist. Durch oberflächenaktive Stoffe kann er aus der Adsorption verdrängt und damit wirksam werden. Durchströmt man die Leber z. B. mit Salzlösungen, welche durch Zusatz verschiedener homologer Alkohole isokapillar gemacht wurden, so erhält man eine Erhöhung der Geschwindigkeit der Zuckerbildung in der Leber etwa auf das Vierfache. Die Alkoholkonzentrationen waren dabei dieselben, welche *Warburg* angewendet hat, um die Oxydationsgeschwindigkeit in Zellen um 50 % herabzusetzen (Äthylalkohol 1,6, Propylalkohol 0,8, Butylalkohol 0,15, Amylalkohol 0,045 Mole pro Liter). Ebenso wirkt, wie *Fröhlich* und *Pollack* fanden, auch Äthyläther in 2 prozentiger Lösung. Ferner kann adsorbierte Diastase dadurch in Lösung gebracht werden, daß man durch osmotische Einwirkungen (durch Spülung mit hypertonischer Salzlösung) die Leberzelle zu plötzlicher starker Wasserabgabe und damit zur Schrumpfung bringt. Dabei werden die adsorbierenden Oberflächen verkleinert und Diastase geht in Lösung. Die zuckertreibende Adrenalinwirkung an der herausgeschnittenen Leber ist von gleicher Größenordnung wie die Beschleunigung, welche durch Durchströmung mit hypertonischer Salzlösung oder homologen Alkoholen in den oben angegebenen Konzentrationen erhalten wird. *Fröhlich* und *Pollack* haben aber gezeigt, daß die Adrenalinwirkung durch Ergotoxin aufgehoben wird, während die Ätherwirkung durch Ergotoxin nicht beeinflußt wird. Sie haben daraus geschlossen, daß das Adrenalin bei seiner zuckertreibenden Wirkung an den Endapparaten des Sympathicus in der Leberzelle angreift. Denn nach den Untersuchungen *Dales* lähmt Ergotoxin die fördernden Endigungen des Sympathicus elektiv. Nun kann aber die Erregung des Endapparates des Sympathicus an sich keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit eines enzymatischen Prozesses haben, wie es die Hydrolyse des Glykogens durch Diastase ist. Wohl aber können wir uns vorstellen, daß diese nervöse Erregung reversibel, d. h. solange sie dauert, eine Verkleinerung der Oberflächen bewirkt, an denen Diastase adsorbiert ist. Dadurch würde adsorbierte Diastase in Lösung gehen und wirksam werden. Hat die Nervenerregung aufgehört, so kehren die adsorbierenden Oberflächen in den alten Zustand zurück und es würde gelöste Diastase rückadsorbiert werden. Die Menge der gelösten wirksamen und der absorbierten unwirksamen Diastase würde jeweils mit Änderungen der adsorbierenden Oberflächen sich ändern.

VII.

Es gibt eine weitere Beeinflussung, durch welche man die Geschwindigkeit der Zuckerbildung in der herausgeschnittenen Froschleber auf das Drei- und Vierfache steigern kann. Man muß nämlich Lebern von Tieren benutzen, welche nach totaler Pankreasextirpation diabetisch geworden sind. Solche Lebern zeigen bei Adrenalineinwirkung keine Erhöhung der Geschwindigkeit der Zuckerbildung mehr. Wir müssen also annehmen, daß bei völligem Fehlen des Pankreashormons in der Leberzelle sämtliche adsorbierte Diastese in Lösung gegangen ist. Daher ist nun die Geschwindigkeit der Glykogenhydrolyse dauernd auf mindestens das Drei- bis Vierfache der normalen Geschwindigkeit gesteigert. Die Folge davon ist, daß die Leber in längerer oder kürzerer Zeit, je nachdem es sich um kalt- oder warmblütige Tiere handelt, extrem glykogenarm wird. Denn das Gleichgewicht zwischen Glykogen, Traubenzucker und Wasser liegt ganz nach der Seite der Hydrolyse hin. Daher ist eine normal glykogenhaltige Leber nur möglich, wenn nur ein kleiner Teil der gesamten Diastase in Lösung vorhanden und damit wirksam ist. Wie groß dieser Teil ist, hängt von den Eigenschaften der adsorbierenden Oberflächen ab. Das Adrenalin wirkt, indem es auf dem Umwege über den Sympathicusendapparat die Diastase adsorbierende Fähigkeit der Oberflächen herabsetzt, das innere Sekret des Pankreas, indem es diese erhöht. Ist das innere Sekret des Pankreas dauernd in der

Leberzelle nicht vorhanden, so erlischt überhaupt die Fähigkeit der Oberflächen zur Diastaseadsorption.

VIII.

Banting und *Best* ist es gelungen, das innere Sekret des Pankreas darzustellen, sie haben es Insulin genannt. Sie und ihre Mitarbeiter fanden, daß Insulininjektionen am pankreasdiabetischen Tiere und am diabetischen Menschen die Symptome der Hyperglykämie und Glykosurie vorübergehend zum Verschwinden bringen. Ferner wird die Verbrennung der Kohlenhydrate ebenso wie die Glykogensynthese in der Leber erheblich gesteigert. Ein herausgeschnittenes, künstlich durchströmtes Kaninchenherz bringt etwa 3 mal so viel Zucker aus insulinhaltiger Nährlösung zum Verschwinden als aus einer insulinfreien. Der wichtigste Befund ist aber der folgende: Wird eine ausreichende Insulindose einem seit 16 Stunden hungernden Kaninchen injiziert, so kann das Krankheitsbild der Hypoglykämie erzeugt werden. Dies tritt auf, wenn der Blutzucker unter 0,045 % sinkt. Die den Blutzucker senkende Eigenschaft des Insulins wird als physiologische Meßmethode benutzt, um den Gehalt der verschiedenen Pankreasextrakte an Insulin ungefähr schätzen zu können. Die durch Insulingaben hervorgebrachten Krankheitserscheinungen der Hypoglykämie werden nun ebenso wie die nach Leberextirpation auftretenden durch Glukosezufuhr wieder rückgängig gemacht, und zwar ebenso beim diabetischen Menschen, dem eine zu große Dose Insulin gegeben wurde, wie beim Kaninchen. Um den Mechanismus der Insulinwirkung zu erklären, hat *Mac Leod* angenommen, es entstehe nach Insulingabe ein „Zuckervacuum" im Gewebe, so daß soviel Zucker aus dem Blut in die Gewebe strömt, daß das Blut hypoglykämisch wird. Dies widerspricht unserer Erfahrung, daß bei stärkerem Abstrom von Zucker aus dem Blut ins Gewebe oder von Zucker aus dem Blute in den Harn bei Phlorizinvergiftung stets eine entsprechend stärkere Zuckerbildung aus Leberglykogen gefunden wird, welche fast immer so groß ist, daß der Blutzucker nicht merklich absinkt. Die Annahme eines „Zuckervacuums" in den Geweben allein genügt nicht, um das Sinken des Blutzuckers nach Insulingabe zu erklären. Es muß außerdem eine Erklärung dafür gegeben werden, warum dieses Sinken des Blutzuckers nicht wie gewöhnlich eine verstärkte Zuckerbildung in der Leber auslöst. Man versteht die Krankheitserscheinungen der Hypoglykämie besser, wenn man annimmt, daß die Hypoglykämie bei Insulingabe ebenso entsteht, wie bei Leberextirpation, nämlich durch Ausfallen der Zuckerbildung in der Leber, weil das Insulin die Zuckerbildung in der Leber umgekehrt beeinflußt wie das Adrenalin. Infolge des niederen Blutzuckerspiegels wird das Zuckergefälle aus dem Blut in die Organe um die Hälfte verringert und die Diffusionsgeschwindigkeit muß entsprechend sinken. Durch intravenöse Zuckerzufuhr wird die normale Diffusionsgeschwindigkeit augenblicklich wieder hergestellt. Glykogen- und Zuckerbestimmungen in den Muskeln von Tieren unter Insulinwirkung würden Klarheit schaffen können, ob ein Zuckervacuum in den Geweben überhaupt besteht. Warum aber Krankheitserscheinungen auftreten sollen, nur weil der Blutzucker niedrig ist, während die Organe so große Zuckermengen aufgenommen haben, daß eben dadurch der Blutzucker gesunken ist, das ist schwer einzusehen. Wahrscheinlich greift das Insulin in erster Linie in der Leber an als echter Antagonist des Adrenalins und drückt die Geschwindigkeit der Zuckerbildung durch die Diastase aus dem Leberglykogen ebenso herab, wie Pankreasextirpation die Geschwindigkeit dieses Prozesses auf das Drei- und Vierfache steigert.

IX.

Wir haben gesehen, daß der Blutzucker aus der Leber stammt, daß er in den Geweben verschwindet, daß es Mittel gibt, ihn zu erhöhen und herabzusetzen, daß dies dazu zwingt, sich Vorstellungen über den Mechanismus der Zuckerbildung in der Leber zu machen, die wiederum zu Vorstellungen über die Art führen, wie Nervenerregungen auf die Geschwindigkeit enzymatischer Prozesse in der Zelle Einfluß haben können. Damit ist aber die Frage, warum der Blutzucker beim Hungertier eine so konstante Größe ist, warum er nach Nahrungsaufnahme nach kurzer Steigerung so rasch wieder auf seinen normalen Wert zurückkehrt, nicht gelöst. Die Versuchung liegt nahe, dies alles auf das Zuckerzentrum im Zentralnervensystem zu schieben. Solange aber Versuche nicht vorliegen, welche zeigen, daß der Zuckergehalt des am Zuckerzentrum im Zentralnervensystem vorüberströmenden Blutes eine ähnliche Rolle bei der Erregung des Zuckerzentrums spielt, wie etwa der Kohlensäuregehalt des Blutes bei der Erregung des Atemzentrums, ist ein solcher Hinweis wertlos. Wir müssen uns bis dahin mit dem Erreichten begnügen. Wir kennen jetzt Einflüsse, welche die Zuckerbildung aus dem Glykogen in der Leberzelle steigern, neben anderen, welche sie herabsetzen und haben über den Mechanismus dieser Vorgänge bestimmte Vorstellungen gewonnen. Ob und unter welchen Bedingungen die steigernden und hemmenden Einflüsse wirksam werden, das muß durch zukünftige Versuche entschieden werden.

Literatur:

F. C. Mann u. Mitarbeiter, Am. Journ. of the med. scienc. *161*, 37, 1921; Archiv of int. Med. *30*, 73—84, 1922; ebenda *30*, 171, 1922; Am. journ. of physiol. *59*, 484.

Fröhlich u. *Pollak*, Schmiedebergs Archiv 77, 265, 1914.

E. J. Lesser, Ergebn. inn. Med. u. Kinderheilk. *16*, 279, 1919.

E. J. Lesser, Biochem. Zeitschr. *102*, 284, 1920; *102*, 294, 1920; *102*, 304, 1920; *103*, 1, 1920; *119*, 108, 1921.

Mac Leod u. Mitarbeiter, Journ. of physiology 57, 234, 1923 (daselbst Literatur über Insulin).

Geschlechtsgebundene und geschlechtsbegrenzte Vererbung bei Fischen.

Von Theo J. Stomps, Amsterdam.

Bis vor kurzem war über Vererbung bei Fischen noch nicht so sehr viel bekannt. Jetzt aber kann man dies nicht mehr sagen, und zwar dank einer Reihe von Untersuchungen, die in den letzten Jahren namentlich von japanischen und dänischen Forschern veröffentlicht worden sind. Das Interessanteste an diesen Untersuchungen ist vielleicht, daß wir dadurch eine Vererbungsweise kennen gelernt haben, die als vollständig neu gelten kann, eine Vererbung durch das y-Chromosom, wie man ganz kurz sagen könnte. Aber vielleicht ist nicht allen Lesern bekannt, was man eigentlich unter einem y-Chromosom versteht. Darum zuerst ein Wort über die sogenannten Geschlechtschromosomen!

Seit etwa 25 Jahren wissen wir, daß verschiedene Tierarten dadurch gekennzeichnet sind, daß die Chromosomengarnituren der Weibchen und Männchen nicht dieselben sind. Sehr häufig kommt es vor, bei vielen Hemipteren oder Halbflüglern z. B., bei Heuschrecken usw., daß die Männchen ein Chromosom weniger in den Kernen haben als die Weibchen. Diese letzteren haben in den Körperzellen, wie man es als Folge der vorangehenden Befruchtung nicht anders erwartet, zwei gleichwertige Sätze von Chromosomen aufzuweisen. Die Männchen aber haben nur einen solchen Satz in jedem Kerne und dann noch einen unvollständigen Satz: einen Satz, dem ein Chromosom fehlt. Infolgedessen kommt nur in der Hälfte der Spermatozoen, die ja bekanntlich durch Reduktionsteilung, d. h. durch Auseinanderfallen der Körperzellen in ihre ursprüngliche Komponente, entstehen, ein vollständiger Chromosomensatz vor, und in den anderen Spermatozoen fehlt ein Chromosom. Die Spermatozoen des zuerstgenannten Typus sind die weibchenliefernden, die des zweiten rufen Männchen ins Dasein. Dasjenige Chromosom, das bei den Weibchen zweimal vertreten ist, bei den Männchen nur einmal, hat man das Geschlechtschromosom oder x-Chromosom genannt. Bisweilen, so bei der Fliege *Drosophila,* kommt es vor, daß die Männchen bei den Kernteilungen neben dem einen x-Chromosom noch einen Rest des zweiten x-Chromosoms, ein im Verschwinden begriffenes x-Chromosom also, zeigen. Letzteres hat man y-Element getauft, und es hat sich bis jetzt immer als ein für die Erblichkeit wertloser Rest eines Chromosoms erwiesen, das keine erblichen Eigenschaften trägt. Bei verschiedenen Tierarten, so vor allem bei Schmetterlingen — berühmt ist der Fall vom Nachtfalter *Abraxas* — und Vögeln, liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt, wie sie hier beschrieben wurden, und findet man bei den Männchen, die nun homogametisch sind, d. h. einen Typus von Spermatozoen erzeugen, zwei gleichwertige Geschlechtschromosomen, bei den heterogametischen Weibchen hingegen nur ein solches Chromosom und daneben höchstens einen Rest eines zweiten.

Die hier erwähnten Verhältnisse bringen für gewisse Merkmale der betreffenden Arten, nämlich für die, welche ihren Sitz im Geschlechtschromosom haben, eine sehr merkwürdige Vererbungsweise mit sich, für die man die Bezeichnung „Geschlechtsgebundene Vererbung" — englisch: sex-linked inheritance — eingeführt hat. Gesetzt, wir kreuzen ein normales *Drosophila*-Männchen mit einem Weibchen, das Verlustvarietät ist in bezug auf ein im x-Chromosom liegendes Merkmal, so werden alle Weibchen der ersten Generation normal werden, da wenigstens in einem ihrer beiden Geschlechtschromosomen die aktive Eigenschaft für den normalen Zustand vorkommt, alle Männchen aber anomal, da ihr einziges x-Chromosom von der anomalen Mutter herrührt. Die umgekehrte Kreuzung, normales Weibchen × abweichendes Männchen, liefert in der ersten lauter normale Individuen, wie der Leser nun leicht selbst einsehen kann, und die zweite Generation stellt sich aus lauter normalen Weibchen und zur Hälfte normalen, zur Hälfte aber anomalen Männchen zusammen. Man sieht, es besteht hier ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Art und Weise, wie sich das gedachte Merkmal vererbt, und dem Geschlechte, und daher rührt die Bezeichnung „geschlechtsgebundene Vererbung". Benutzt man für die Kreuzungen Vertreter aus den Gruppen der Vögel und Schmetterlinge, so fallen die Resultate selbstverständlich umgekehrt aus.

Hiermit dürfte der Leser wenigstens einigermaßen über das Geschlechtschromosomenproblem und geschlechtsgebundene Vererbung orientiert sein, und somit können wir jetzt zur Besprechung der in den letzten Jahren erschienenen Arbeiten über Fische schreiten. Es sind an erster Stelle ein Aufsatz von *Tatuo Aida* „On the inheritance of color in a fresh-water fish, *Aplocheilus latipes Temmick* and *Schlegel,* with special reference to sex-linked inheritance", in „Genetics", Bd. 6, Nov. 1921, und sodann einige Mitteilungen von *Johs. Schmidt* und *Ö. Winge* in den Comptes rendus vom Carlsberglaboratorium in Kopenhagen.

Aida arbeitet also mit *Aplocheilus latipes.* Referent vermutet, daß *Aplocheilus* dasselbe ist wie *Haplochilus,* und dann würde die Art zu den sogenannten Zahnkarpfen gehören. *Aida* sagt von ihr, daß der japanische Name Medaka ist und die Art sehr gemein ist, „in our streams and paddy fields". Die wilde Form ist braun und schwarz, und von Händlern bezog der Verfasser noch vier weitere Typen, nämlich einen orangeroten, einen orangeroten mit schwarzen Flecken,

einen weißlichen und einen weißlichen mit schwarzen Flecken. Man sieht, das sind Farben, die an diejenigen unserer Goldfische erinnern.

Eine Reihe von Kreuzungen wurde nun zwischen den genannten Typen ausgeführt. Die Kreuzung rot × weiß ergab in erster Generation nur rote Individuen, in der zweiten drei rote auf ein weißes, fügte sich also dem bekannten Mendelschen Schema. Dasselbe trifft zu für die Kreuzung braun × rot, und im Zusammenhang hiermit zeigte eine Kreuzung zwischen braunen und weißen Individuen in der zweiten Generation eine Spaltung in braune, rote, blaue und weiße Individuen im Verhältnis 9 : 3 : 3 : 1. Das ist alles nichts Besonderes und war vorher von *K. Toyama* und *M. Ishiwara* auch schon gefunden worden. Offenbar bedingt eine Eigenschaft *R* die orangerote Farbe und eine weitere Eigenschaft *B* (blau) zusammen mit ihr die braune Farbe der wilden Art.

Interessanter sind schon die Kreuzungen zwischen schwarzgefleckten Individuen und ungefleckten. Zwar spalteten auch diese in der gewohnten Weise nach *Mendel*, was *Aida* die Veranlassung war, einen neuen Faktor B^I für das Auftreten von schwarzen Flecken auf einem weißen oder orangeroten Hintergrund anzunehmen, aber hier möchte Referent sich eine Bemerkung erlauben. Es ist ihm nämlich nicht möglich, an einen besonderen Faktor für „Variegation" zu glauben, dies wegen der einfachen Ursache, daß auch die Kreuzung braun × rot mit schwarzen Flecken in der zweiten Generation eine Spaltung nach 3 : 1 zu erkennen gab. Der Leser untersuche dies nur einmal für sich selbst. Würde es zwei gesonderte Eigenschaften *B* und B^I für braune (blaue) Farbe und dunkle Flecke geben, so muß es als gänzlich ausgeschlossen betrachtet werden, daß die drei Kreuzungen braun × gefleckt, braun × rot und gefleckt × rot alle drei in der zweiten Generation im Verhältnis 3 : 1 spalten könnten. Die moderne Erblichkeitslehre glaubt sich hier aus der Schwierigkeit gerettet zu haben, indem sie von „multiple allelomorphs" spricht — nicht wahr, „wo Begriffe fehlen" usw. — und *Th. H. Morgan* spricht anläßlich seiner Untersuchungen an *Drosophila* von Eigenschaften, die denselben Platz in einem Chromosom einnehmen würden. Referent ist aber der Meinung, daß man hier und in ähnlichen Fällen am besten tut, an die Auffassung von *Hugo de Vries* zu denken, daß die Pangene oder die stofflichen Träger der erblichen Eigenschaften in verschiedenen Zuständen vorkommen können. Die Pangene *B* und B^I *Aidas* für braune Farbe und dunkle Flecke sind im Zusammenhang hiermit nach seiner Überzeugung dasselbe Pangen, das sich lediglich im ersteren Falle in einem Zustande größerer Aktivität befindet als im zweiten. Die Untersuchungen *R. Goldschmidts* über Intersexualität bei Schmetterlingen haben uns ja auch bereits gelehrt, daß das gleiche Pangen bei verschiedenen Rassen einer Art in verschiedenen Graden der Aktivität anwesend sein kann.

Den wichtigsten Teil der Abhandlung *Aidas* bildet ohne Zweifel, was er über geschlechtsgebundene Vererbung bei *Aplocheilus* mitteilt. Es ist sicher wahr, daß Weibchen der weißen Rasse, gekreuzt mit roten Männchen, eine durchaus rote erste Generation ergeben und eine zweite, die sich aus 75 % roten und 25 % weißen Individuen zusammenstellt. Aber in der zweiten Generation sind alle Männchen rot, die Weibchen zur Hälfte rot und zur Hälfte weiß. Es ist klar, daß eine geschlechtsgebundene Vererbung im Spiele ist, und zwar eine ganz andere als die, welche wir von *Drosophila* und *Abraxas* gewöhnt sind. *Aida* hat hierfür folgende Erklärung ersonnen. An erster Stelle müssen wir annehmen, daß bei *Aplocheilus* ebenso wie bei *Drosophila* das weibliche Geschlecht durch zwei x-Chromosomen, das männliche durch ein x- und ein y-Chromosom gekennzeichnet ist. Nun, dazu kommen wir um so eher, als auch *J. S. Huxley* neulich anläßlich seiner Untersuchungen an einer *Girardinusart* zum selben Schlusse kam. Zweitens müssen wir annehmen, daß das y-Chromosom in diesem Falle nicht einen für die Erblichkeit wertlosen Rest eines Chromosoms darstellt, wofür man es, wie bereits oben bemerkt wurde, bis jetzt in anderen Fällen immer gehalten hat. Auch das y-Chromosom von *Aplocheilus* kann nach *Aida* eine aktive Eigenschaft für orangerote Farbe tragen. Schließt man sich ihm an, so wird das soeben mitgeteilte Kreuzungsresultat sofort begreiflich. Man kann dann nämlich ein weißes Weibchen darstellen durch $X_r\ X_r$, ein rotes Männchen durch $X_R\ Y_R$. Die Kreuzung liefert Weibchen $X_r\ X_R$, die rot sind, und Männchen $X_r\ Y_R$, die gleichfalls rot sind. Die zweite Generation umfaßt in gleichen Quantitäten Individuen $X_r\ X_r$, $X_R\ X_r$, $X_r\ Y_R$ und $X_R\ Y_R$, stellt sich somit aus roten Männchen und nur zur Hälfte roten Weibchen zusammen.

Noch in einer anderen Hinsicht fand *Aida* das y-Chromosom von *Aplocheilus* merkwürdig und verschieden von allen anderen y-Chromosomen, die man bis jetzt kennen gelernt hat. Wenn eine männliche *Drosophila* durch Reduktionsteilung Spermatozoen erzeugt, so treten x- und y-Chromosom ganz sicher nicht miteinander in Beziehung, wie die anderen Chromosomen oder Autosomen solches tun, und es gibt, wie *Morgan* sich ausdrückt, kein „crossing-over", bevor die beiden Chromosomensätze der Körperzellen und damit auch x- und y-Chromosom auseinander weichen. Demgegenüber ist bei *Aplocheilus*-Männchen wohl ein Austausch der Eigenschaften zwischen x- und y-Chromosom während des sogenannten Synapsisstadiums der Reduktionsteilung möglich. *Aida* hat dies bewiesen, indem er weiße Weibchen zusammenbrachte mit den für die orangerote Körperfarbe heterozygotischen Männchen der ersten Generation der soeben besprochenen Kreuzung. Man erwartet ausschließlich rote Männchen der Formel $X_r\ Y_R$ und weiße Weibchen der Formel $X_r\ X_r$. *Aida* erhielt aber außerdem

vereinzelte rote Weibchen und vereinzelte weiße Männchen, was beweist, daß der Vater der Kreuzung nicht nur Geschlechtszellen X_r und Y_R, sondern auch einige Geschlechtszellen X_R und Y_r erzeugt hatte.

Man möchte indessen fragen, wenn das y-Chromosom von *Aplocheilus* dann aktive Eigenschaften tragen und einen Austausch mit dem x-Chromosom zeigen kann, ob es nötig, ob es zulässig ist, hier von einem x- und y-Chromosom zu reden. Es wäre nach der Meinung des Referenten genügend anzunehmen, daß ein Männchen durch einen latenten Geschlechtsfaktor in einem der Glieder eines bestimmten Chromosomenpaares gekennzeichnet ist, und daß die Eigenschaft für orangerote Körperfarbe zufälligerweise auch in diesem Chromosomenpaar liegt. Andererseits kann man nicht leugnen, daß diejenigen Forscher, die sich den das Geschlecht bestimmenden Faktor in den Geschlechtschromosomen lokalisiert denken, durch das Werk *Aidas* schon wieder eine neue Stütze für ihre Anschauung erhalten haben.

Wir kommen jetzt zur Besprechung der dänischen Arbeiten, auf die wir oben bereits anspielten. Etwas Ähnliches, wie *Aida* es für das y-Chromosom von *Aplocheilus* gefunden hat, war kurze Zeit vorher von *Johs. Schmidt* in Kopenhagen für eine andere Fischart, *Lebistes reticulatus*, ein Zierfischchen aus Westindien, eigentlich auch schon beschrieben worden. Da aber die Arbeit *Aidas* ausführlicher war, besonders dadurch, daß *Aida* einen Umtausch der Eigenschaften zwischen x- und y-Chromosom konstatierte, so ließen wir dieselbe vorangehen.

Schmidt sah einen charakteristischen schwarzen Fleck auf der Dorsalflosse der Männchen einer bestimmten Rasse nach Kreuzung mit einer ungefleckten Rasse immer ausschließlich von Vater auf Sohn übergehen. Dies stimmt zum Resultat der Kreuzung: weiße *Aplocheilus*-Weibchen × heterozygotische rote Männchen, die wir oben besprochen haben. Auch *Schmidt* zog die Schlußfolgerung, daß es eine aktive Eigenschaft gibt, die den schwarzen Fleck herbeiführt, und daß diese Eigenschaft ihre stoffliche Basis im y-Chromosom hat. Merkwürdig ist es fürwahr, daß somit schon wieder zwei Forscher zu gleicher Zeit und unabhängig voneinander etwas entdeckten, das als vollständig neu gelten kann, in diesem Falle also eine Vererbungsweise, die sich gründlich unterscheidet von allem, was uns bis jetzt auf diesem Gebiete bekannt war.

Die Untersuchungen von *Schmidt* an *Lebistes* sind in der letzten Zeit fortgesetzt worden von *Ö. Winge* in Kopenhagen, der noch manche Einzelheiten ans Licht gebracht hat.

In einem ersten Aufsatz teilt dieser Forscher mit, daß sowohl das männliche als auch das weibliche Geschlecht durch 46 Chromosomen gekennzeichnet ist, und daß morphologische Unterschiede zwischen Autosomen und Geschlechtschromosomen nicht konstatiert werden konnten. Eine Ursache um so mehr also, um zu fragen, ob es nicht vernünftiger wäre, hier nicht von x- und y-Chromosomen zu reden. Sodann findet *Winge* noch drei weitere Merkmale, die sich wie das soeben gemeinte Merkmal für einen schwarzen Fleck auf der Dorsalflosse benehmen, und die er sich folglich im y-Chromosom lokalisiert denkt. Für ihr Verhalten bei der Kreuzung schlägt er den Ausdruck „one-sided masculine inheritance" vor. Referent kann hiermit einig gehen, aber er möchte nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, daß, bevor man in die internationale Literatur die Bezeichnungen „sex-linked inheritance" und „geschlechtsgebundene Vererbung" einführte, die Ausdrücke „sex-limited inheritance" oder „geschlechtsbegrenzte Vererbung" im Schwange waren. Letztere hat man fallen lassen, weil in den damaligen Untersuchungen faktisch keine Rede davon war, daß gewisse Eigenschaften sich auf ein bestimmtes Geschlecht beschränkt zeigten, sondern lediglich nur von einer Vererbung, die irgendeine Beziehung zum Geschlechte aufwies. Warum würden wir sie jetzt nicht wieder einführen, nachdem wir eine wirklich auf eins der beiden Geschlechter beschränkte Erblichkeit näher kennen gelernt haben? *Drosophila* und *Abraxas* sind Beispiele für geschlechtsgebundene Vererbung oder sex-linked inheritance, *Aplocheilus* und *Lebistes* für geschlechtsbegrenzte Vererbung oder sex-limited inheritance.

Erwähnt sei hier aber vollständigkeitshalber noch, daß *Winge* bei *Lebistes* auch eine geschlechtsgebundene Vererbung vom *Drosophila*-Typus beobachtet hat, und zwar für ein „sulfureus" genanntes Merkmal einer bestimmten Rasse. Hierfür ist also ein aktives Pangen in den x-Chromosomen anzunehmen, zweimal anwesend bei den Weibchen, nur einmal bei den Männchen. Den Vorsprung, den *Aida* vor *Schmidt* hatte durch seine Entdeckung eines Austausches zwischen den x- und y-Chromosomen bei der Reduktionsteilung der Männchen holt *Winge* ein, indem er jetzt auch für *Lebistes* einen ähnlichen Austausch der Eigenschaften beschreibt.

Literatur.

Tatuo Aida, On the inheritance of color in a freshwater fish, Aplocheilus latipes Temmick and Schlegel, with special reference to sex-linked inheritance, Genetics, *VI*, 1921.

K. Toyama, On some Mendelian characters, Report of Japanese Breeding Society, *I*, 1916.

M. Ishiwara, On the inheritance of bodycolour in Oryzias latipes, Mitteilungen aus der medizinischen Fakultät Kyushu, *IV*, 1917.

J. S. Huxley, Note on an alternating preponderance of males and females in fish, and its possible significance, Journ. of Genetics, *X*, 1920.

Johs. Schmidt, Experiments with Lebistes reticulatus, Comptes rendus des Trav. du Lab. de Carlsberg, *XIV*, 5, 1919.

— The genetic behaviour of a secondary sexual character, ibidem, *XIV*, 5, 1920.

Ö. Winge, A peculiar mode of inheritance and its cytological explanation, ibidem, *XIV*, 17, 1922,

— One-sided masculine and sex-linked inheritance in Lebistes reticulatus, ibidem, *XIV*, 18, 1922.

Das physikalische Institut der Universität Leiden in den Jahren 1904 bis 1922.

Am 11. November 1922 waren 40 Jahre verflossen, seitdem Professor *Kamerlingh Onnes* als Ordinarius der Universität Leiden die Leitung des dortigen physikalischen Institutes übernahm, das unter seiner Führung weit über die Landesgrenzen Berühmtheit erlangt hat. Dieses Jubiläum haben Schüler und Freunde des holländischen Gelehrten zum Anlaß genommen, um in einem prächtig ausgestatteten Bande von über 450 Seiten zusammenzustellen, was in den letzten 18 Jahren im Leidener Institut an experimenteller Arbeit geleistet ist, und darzulegen, welche theoretischen Gesichtspunkte den Untersuchungen als Richtschnur dienten oder aus ihnen folgten. Dieser Jubelband reiht sich an einen früheren an, der in ähnlicher Weise die Zeit von 1882 bis 1903 umspannt und zum 25jährigen Doktorjubiläum von *Kamerlingh Onnes* im Juli 1904 erschien.

Während *Kamerlingh Onnes* und seine Mitarbeiter in diesen ersten zwei Jahrzehnten hauptsächlich das Gesetz der korrespondierenden Zustände sowie die Zustandsgleichungen der Gase erforschten, wobei nur Temperaturen bis herab zu derjenigen des flüssigen Sauerstoffs in Betracht kamen, erweiterte sich im Verlauf der zweiten Periode, deren Höhepunkte die Verflüssigung des Heliums (10. Juli 1908) und die Auffindung der elektrischen Supraleitung bilden, der Aufgabenkreis sehr erheblich. Neben Untersuchungen über den Sättigungsdruck von Dämpfen, die spezifischen Volumina von Flüssigkeiten und Dämpfen im Sättigungszustand und die kritischen Größen der wichtigsten Gase erforderte die Einführung des Widerstandsthermometers in das kryogene Laboratorium ausgedehnte Messungsreihen über die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes verschiedener Metalle von der Temperatur. Um so tiefe Temperaturen wie diejenige des flüssigen Heliums messen zu können, mußten neue Methoden aufgesucht werden. Zahlreiche Probleme auf dem Gebiet der Magnetisierung, der spezifischen Wärmen usw. stellte die Quantentheorie, deren Hauptanwendungsgebiet gerade im Bereich tiefster Temperaturen liegt.

Wie rasch die Entwickelung vorwärts schritt, mag daraus erkannt werden, daß nur zwei Jahre vor der Heliumverflüssigung (nämlich 1906) die Einrichtung zur Kondensierung des Wasserstoffs im Leidener Laboratorium fertiggestellt war. *Dewar* hatte dies Gas bereits im Jahre 1898 verflüssigt, allerdings nur in verhältnismäßig kleinen Mengen. *Kamerlingh Onnes* stellte sich sofort die Aufgabe, eine Anlage zu schaffen, die in der Stunde 3—4 Liter flüssigen Wasserstoff lieferte. Die nicht geringen Schwierigkeiten wurden glatt überwunden. Ein wichtiges Problem dieses Aufgabenkreises war z. B., den gasförmigen Wasserstoff von den letzten Spuren leicht kondensierbarer Gase zu befreien, welche die engen Röhren und die Ventile des Verflüssigungsapparates so leicht verstopfen und dadurch den Betrieb erheblich stören. Heute steht in Leiden die größte Anlage zur Wasserstoffverflüssigung, mit der in der Stunde 12 Liter in den flüssigen Aggregatzustand übergeführt werden können. Das Gas wird in mehreren Druckstufen auf 150 bis 200 Atm. gepreßt und durch flüssige Luft, die unter 1,5 bis 2 mm Druck siedet, vorgekühlt, bevor es im Joule-Thomson-Prozeß auf 1 Atm. expandiert.

Kamerlingh Onnes besitzt in seltenem Maße das Talent, schwierige technische Probleme bis in die letzten Einzelheiten durchzudenken, so daß bei Verwirklichung seiner Pläne der Erfolg nicht ausbleibt. Das schönste Beispiel hierfür ist die Heliumverflüssigung, die so ungewöhnliche Anforderungen in verschiedenster Richtung stellt, daß sie bisher (nach 15 Jahren) an keiner anderen Stelle der Erde wiederholt wurde, obwohl *Kamerlingh Onnes* seine Einrichtung genau beschrieben hat und alle Physiker das größte Interesse an Messungen in der Nähe des absoluten Nullpunktes besitzen. Für den ersten Versuch standen nur 360 Liter gasförmigen Heliums zur Verfügung, das mühsam aus Monazitsand gewonnen und von leicht kondensierbaren Verunreinigungen befreit war. 160 Liter blieben zunächst in Reserve; die übrigen 200 Liter mußten in einem geschlossenen Kreislauf 20mal zirkulieren, bis die Verflüssigung eintrat. Da hierbei gewisse Verluste an Helium nicht vermieden werden konnten, so war es für die Fortsetzung der Versuche in größerem Ausmaß von entscheidender Bedeutung, daß von amerikanischer Seite nicht weniger als 32 m^3 jenes seltenen Gases zur Verfügung gestellt wurden. Bei der Einrichtung, wie sie zurzeit in Gebrauch ist, zirkulieren in dem Kreislauf 12 m^3 Helium in der Stunde. Das Gas wird auf 30 Atm. gedrückt, durch Wasserstoff, der unter stark reduziertem Druck siedet, gekühlt und auf 1 Atm. im Joule-Thomson-Prozeß expandiert. Es können in der Stunde 1,7 Liter flüssiges Helium gewonnen werden.

Die Supraleitung, welche darin besteht, daß bei Heliumtemperaturen (nämlich zwischen 2 und 7 ° absoluter Temperatur) der bis dahin regelmäßig abnehmende Widerstand mehrerer Metalle (Quecksilber, Blei, Thallium, Zinn) plötzlich auf einen unmeßbar kleinen Betrag sinkt, muß als die größte Überraschung bezeichnet werden, welche die Physik tiefer Temperaturen aufzuweisen hat. Sie wurde im Frühjahr 1911 entdeckt und hat trotz größter Bemühungen noch nicht ohne Zwang in das System der physikalisch-theoretischen Anschauungen eingeordnet werden können. Von den zahlreichen Versuchen, diese merkwürdige Erscheinung sicherzustellen, mag hier nur an eine Anordnung erinnert werden, die alle Zweifel an der Richtigkeit der Beobachtung ausschließt. *Kamerlingh Onnes* brachte einen zur Spule aufgewundenen Bleidraht in ein Magnetfeld von 400 Gauss, das er nach Abkühlung der Spule auf die Temperatur des flüssigen Heliums rasch zu Null abfallen ließ. Der induzierte Strom floß in der gekühlten Spule in nahezu unverminderter Stärke weiter. Aus der Einstellung eines benachbarten Magnetspiegels konnte geschlossen werden, daß die Relaxationszeit des Induktionsstromes mehr als vier Tage betrug und daß der Widerstand des Drahtes unterhalb seines Sprungpunktes nur etwa das $0{,}2 \cdot 10^{-10}$fache seines Widerstandes bei 0 ° C betrug. Wurde der Bleidraht durch eine mechanische Vorrichtung zerrissen und der Strom nun gezwungen, durch eine teilweise auf Zimmertemperatur befindliche Zweigleitung zu laufen, so fiel er in kürzester Zeit auf Null.

An die Auffindung der Supraleitung knüpften sich bald große Hoffnungen auf Herstellung kräftiger Magnetfelder ohne Eisen, die indessen völlig zerstört wurden, als Anfang des Jahres 1914 neue Versuche ergaben, daß die Supraleitung durch stärkere Magnetfelder aufgehoben wird. Hierbei wurde deutlich, daß die Bestätigung der Supraleitung durch den Versuch mit dem induzierten Strom insofern einem besonderen Glücksfall zu danken war, als die vom Strom durchflossene Versuchsspule bei geringer Erhöhung der Windungszahl bereits ein magnetisches Feld jenseits der kritischen Grenze erzeugt hätte.

Die Leser der „Communications" des Leidener Labo-

ratoriums werden freudig begrüßen, daß in dem vorliegenden Jubelbande die wichtigsten Versuchsanordnungen und Messungsergebnisse in übersichtlicher Form zusammengestellt sind. Es ist ja bekannt, daß die „Communications" diesen Vorzug meist nicht besitzen und daß infolge der vielen Hinweise von einer Veröffentlichung auf die andere man ihnen oft nur mit großem Aufwand an Zeit eine bestimmte Angabe entnehmen kann. Aus der Art dieser Veröffentlichungen, die meist von *Kamerlingh Onnes* selbst verfaßt sind, erkennt man, daß der Autor gewohnt ist, sich in einer schwer übersichtlichen Mannigfaltigkeit zurechtzufinden. Diese tritt besonders in den auf zahlreichen Tafeln dargestellten Apparaturen zutage. Nun ist allerdings zuzugeben, daß die Versuchsanordnungen im Gebiet der tiefsten Temperaturen nicht einfach sein können, so daß vielleicht ein stärker auf das Einfache gerichteter Geist die auftretenden Schwierigkeiten gar nicht zu meistern in der Lage wäre. Dieses eigenartige mit großer Energie gepaarte Geschick macht vielleicht die Hauptbedeutung von *Kamerlingh Onnes* aus und erhebt ihn zu einem der ersten Experimentalphysiker unserer Zeit. Die bedeutenden Erfolge seines von wissenschaftlichem Geist durchdrungenen technischen Könnens haben hervorragende Fachgenossen aus den großen Kulturländern nach Leiden gezogen, wo sie, auf das gastlichste empfangen, sich der eigenartigen Versuchseinrichtungen bedienen konnten. Verschiedene Artikel dieses Bandes enthalten in holländischer, deutscher und französischer Sprache den Dank der ausländischen Gäste.

Der Band beginnt mit einer Begrüßung des Jubilars durch *H. A. Lorentz*. Im übrigen gliedert er sich in 5 Hauptabschnitte, die hier aufgezählt werden mögen:

1. Das physikalische Laboratorium der Reichsuniversität Leiden von 1904 bis 1922 (Artikel von *Kuenen* und *Crommelin* über Allgemeines, Methoden und Hilfsmittel, Personal).
2. Thermodynamische Untersuchungen (*Keesom, Mathias, Crommelin, Verschaffelt*).
3. Magnetische Untersuchungen (*Weiß, Woltjer*).
4. Optische, magnetooptische und radioaktive Untersuchungen (*Zeeman, J. Becquerel, Ehrenfest, Curie*).
5. Elektrische Untersuchungen (*Crommelin, Einstein, B.* und *A. Beckman*).

Henning.

Besprechungen.

Heim, Alb., Geologie der Schweiz. Bd. II, 2. Hälfte. Leipzig, H. Tauchnitz, 1922. 8°. 542 S. und 88 Textbilder, zahlr. Tab. u. Tafeln. Preis Gz. 20.

Damit liegt das große Werk vollendet vor: Band I 1918 mit 704 S., 126 Abb. u. 31 ein- und mehrfarbigen Tafeln, Bd. II mit Vorwort, eingehendem Inhaltsverzeichnis, Nachträgen und Register, 1018 S., 249 Textb. und entsprechenden Tafeln. Darüber können hier nur einige orientierende Andeutungen gegeben werden. Durch zwei Wurzelzonen sind zwei große Deckengebiete geschieden. Die Linie Vorderrhein- und Rhonetal bis Chamonix trennt die helvetischen Decken im Norden von denjenigen der Süd- und schweizerischen Ostalpen. Letztere sind gegen die westlichen Schweizeralpen durch eine Querflexur Chur—Lenzerheide—Oberhalbstein und Septimerpaß abgegrenzt. Westlich dieser Linie breiten sich im Wallis, dem Tessin und westlichen Graubünden die penninischen Decken aus. Die ostalpine Deckenzone umfaßt das übrige Bünden, mit der Silvrettadecke bis zum Arlberg und östlich über die Ötztaler Alpen reichend. Die romanischen „Préalpes" und die „Klippenzone" gegen den Nordrand der Schweizeralpen erscheinen als unterostalpine und Deckenreste. Die Zone Ivrea—Locarno—Bellinzona—Brusio (Poschiavo) ist als Wurzelzone dieser Deckensysteme erkannt worden, an die als ältester Südrand der Alpen das autochthone kristalline Seegebirge vom Monte Ceneri nach Süden mit Sedimenthüllen als „Dinariden" angelagert ist als Gegenstück des kristallinen „Nordrandes der Alpen" in den nördlichen Zentralmassiven.

Die Beschreibung der einzelnen Deckenzonen befolgt stets Stratigraphie, Bau und Oberflächengestaltung. Sie wäre unmöglich ohne zahlreiche bildliche Darstellungen, welche die bewährte Hand des Meisters selbst zum größeren Teil und in unübertroffener Ausführung geliefert hat. Lehrreich sind die tektonischen Übersichtskarten über die Alpen 1 : 800 000 und der „Préalpes romandes" 1 : 600 000, letztere von *A. Jeannet*. Vor allem imponieren mehrfarbige und strukturell verblüffend wirkende Querprofile von 46—71 cm Länge wie drei Übersichtsprofile durch die Schweizeralpen auf den Stand von 1919 in 1 : 400 000, dann 12 großartige 1 : 75 000 durchbestimmte Gebiete. Ein Schüler des Autors, *R. Staub*, beschenkte das Werk mit zwei grandiosen Querschnitten 1 : 150 000 von 138 cm Länge durch die westlichen Ostalpen, vom Grünten bis Val Trompia und von Trogen (Appenzell) zum Lago d'Iseo, welche eine Überschiebung der Alpen auf deren mitteltertiäres Vorland von 15—9 km zeigen. Zahlreich sind mühevoll aufgebaute vergleichende stratigraphische Tabellen und Übersichten über die Gliederung und Zusammengehörigkeit der einzelnen Decken und Teildecken. Haben einige Schüler des Verfassers, wie dessen Sohn Arnold, ferner *A. Jeannet, R. Staub* und viele andere im Vorwort und Text erwähnte Geologen namhafte Beiträge geleistet, so ist die ganze „Geologie der Schweiz" doch Hauptwerk des Autors, der in vorbildlicher Weise nicht nur den heutigen Stand der Erforschung des Schweizerlandes darstellt, sondern ein ausgezeichnetes Handbuch der tektonischen Geologie überhaupt bietet auf Grund eingehend studierter klassischer junger Gebirgstypen, von Jura, Alpen und dem Vorland der letzteren. Überall treten die Methoden der Forschung, die Beweisführung für die einheitliche, imposante Deckenstruktur entgegen. Stets wird die glaziale Umformung des Geländes kritisch untersucht, die Bildung der Seebecken, Gipfelfluren, das isostatische Moment, die Bestimmung der Bewegungsrichtung in dem Gesamtschub und werden dadurch wichtigste Bausteine zum erweiterten „Mechanismus" der Erdrinde, zur Frage der Kontinentalverschiebungen u. a. geliefert. Die gewaltige Arbeit bedarf keiner Empfehlung. Wir danken dem erfahrenen und führenden Forscher warm dafür und ebenso der Firma, welche das Unternehmen ermöglicht hat. *J. Früh, Zürich.*

Schroeter, C., Das Pflanzenleben der Alpen. Zweite neu durchgearbeitete und vermehrte Auflage. 1. Lieferung. Zürich, Albert Raustein, 1923. VII, 366 S., 125 Abbildungen und 5 Tafeln. Preis Gz. 10.

Eine Schilderung der Hochgebirgsflora gibt „Das Pflanzenleben der Alpen" von *C. Schroeter*, das jetzt in

zweiter Auflage erscheint. Die erste Lieferung liegt vor und orientiert zunächst über die Stellung der alpinen Flora (Oreophyten nach *Diels*) im gesamten Pflanzenteppich der Alpenkette. — Jede Pflanze stellt Ansprüche an Klima, Boden und Umwelt. Wo diese Ansprüche nicht erfüllt werden, findet sie die Grenze ihrer Verbreitung. In der Ebene unterscheidet man diese Grenzen nach der Himmelsrichtung; im Gebirge spricht man von Höhengrenzen, und zwar von einer unteren und einer oberen Höhengrenze; den zwischen diesen beiden eingeschlossenen Gürtel bezeichnet man als „Höhenstufe" einer Pflanze. Wie die einzelnen Arten, so ist auch jede Pflanzengesellschaft an bestimmte Höhenstufen gebunden. In gewisser Höhe wird der Laubwald durch Nadelwald ersetzt, bis auch dieser sein Ende erreicht und einem absolut baumlosen Gürtel weicht, der sich bis zu den Grenzen des ewigen Schnees erstreckt. — Der Verlauf einer Höhenstufe entspricht durchaus nicht einer Horizontalkurve; er wird abgelenkt durch Klimacharakter, Massenerhebung, Himmelslage, Gletschernähe, Windverhältnisse, Niederschläge. Um mehrere Hunderte von Metern kann in verschiedenen Gegenden die absolute Lage derselben Stufengrenze auseinanderliegen, wie *Schroeter* das in übersichtlichen Tabellen zeigt. —

Ein besonderes Kapitel ist einem der interessantesten Probleme der „alpinen" Höhenstufe, der *Baumgrenze*, gewidmet. Durch zwei Faktoren wird sie bedingt: durch die Natur selbst und durch wirtschaftliche Verhältnisse, denen zufolge der Mensch zu Eingriffen in den Waldbestand veranlaßt wird. Bei der Festlegung der *natürlichen Grenzen* spielt 1. das Klima eine Rolle, vor allem Temperatur- und Bestrahlungsverhältnisse, Dauer der Schneedecke, Niederschläge, Luftfeuchtigkeit und Windwirkung. Nicht klimatisch bedingt sind 2. die rein orographischen Grenzen, d. h. Stellen, an denen steile Felswände, Geröllhalden, Lawinenzüge und Gletscher dem Walde Halt gebieten. 3. Die biotischen Grenzen endlich sind bestimmt durch das Fehlen von Organismen, die den Bäumen nötig sind (Pilze, Bodenbakterien), oder durch das Überhandnehmen von Feinden (Raupen), die die Existenz der Bäume gefährden; oft fehlen auch die Verbreitungsvermittler, die die Samen an die zum Keimen geeigneten Stellen tragen, oft mangelt das Unterholz, das den Keimpflanzen Schutz gewährt. Aus *wirtschaftlichen* Gründen hat der Mensch versucht, die Baumgrenze zu erhöhen; es ist nicht bekannt, daß es ihm dauernd gelungen sei; und so wird eine der Hauptaufgaben des Gebirgsförsters vielmehr die Wiederherstellung der durch Abholzung hinabgedrückten Baumgrenze sein.

Ehe *Schroeter* zu den Hauptrepräsentanten der Hochgebirgsflora der Alpenkette übergeht, gibt er unter Berücksichtigung der neuesten Literatur eine ausführliche Übersicht über das Klima der Alpen, über Boden, Standorte und Pflanzengesellschaften der alpinen Höhenstufe. — Besonders reich ist das Kapitel über das Klima mit Tabellen und Kurven ausgestattet, die Aufschluß geben über Sonnenstrahlung im Hochgebirge und Tiefland, über Ortshelligkeit, chemische Lichtintensität, Sonnenscheindauer und Zahl der Nebeltage, Lufttemperatur und Bodenwärme, da für die Vegetation all diese Zahlen von größter Bedeutung sind. Sie zeigen, daß man das „Pflanzenklima" nicht nach dem Hauptdatum der Meteorologie, nach der Lufttemperatur im Schatten, beurteilen darf; denn die Blätter arbeiten unter dem Einflusse der Sonnenwärme und des Lichtes, die Wurzeln schöpfen Nahrung in dem durchwärmten Boden. — Die Wirkung starker Bestrahlung zeigt sich in der großen Differenz des Lokalklimas in verschiedener Himmelslage, verschiedener „Exposition". Wenn die Südhänge schon im ersten Frühling grünen, die ersten zarten Blüten sich entfalten, starren die Nordhänge noch in Eis und Schnee. Im Spätsommer leuchtet das goldige Gelb reifender Ähren auf sonnigen Abhängen, während düsterer Arvenwald (Pinus Cembra) die Nordhalden beschattet und Zwergstrauchtundra die Lichtungen des Waldes bedeckt. — Der jährliche Gang der Temperatur bestimmt die Vegetationsdauer, d. h. die Zeit vom Erwachen der Vegetation bis zum Eintritt der Vegetationsruhe. Die Verhältnisse hängen in erster Linie von der Dauer der Schneedecke ab. Eine völlig schneefreie Zeit (Aperzeit) gibt es nur bis zu einer Höhe von etwa 1500 m; höher oben kann in jedem Monat Schnee fallen; doch ist es erstaunlich, wie unempfindlich die alpine Vegetation gegen Frost und raschen Temperaturwechsel ist, fand man doch Pflanzen an schneefreien Windecken auf höchsten Höhen, die mehr als — 30 ° C ertrugen und tagsüber bei hellem Himmel zweifellos bis 20, vielleicht bis 30 ° C über 0 ° erwärmt wurden. — Empfindlicher ist die Alpenflora gegen die austrocknende, „physiologische" Wirkung des Windes: sie kann den durch Verdunstung entstandenen Wasserverlust aus dem kalten Boden nicht ersetzen und es zeigen sich die vertrockneten, für Windschaden charakteristischen Ränder an den Laubblättern. Auch mechanisch greift der Wind an: Windanrisse, Windfurchen entstehen im Rasen, Windschliffe zeigen sich selbst an harten Polsterpflanzen, wie etwa an Carex firma (Segge, Rietgras), an Saxifraga (Steinbrech) und Androsace (Mannsschild). — Mit einem Hinweis auf die Niederschlagsverhältnisse und die verschiedenen Wirkungen der Schneedecke schließt *Schroeter* das Kapitel über das Alpenklima, um dann im folgenden Abschnitt über Boden, Standorte und Pflanzengesellschaften zu sprechen. Es sind diesen Problemen nur etwa 18 Seiten des Buches gewidmet, da der Verf. jene Streitfragen hier nicht erörtern will: „Die ganze Anlage des vorliegenden Buches ist mehr ‚autökologisch', befaßt sich mehr mit der Lebensgeschichte der Einzelart als mit den Pflanzengesellschaften."

Von den Hauptrepräsentanten der Hochgebirgsflora der Alpenkette werden in Lieferung I die Holzpflanzen besprochen: Koniferen, Alpenerle (Alnus viridis D C.), Ericaceen und Empetrum (Rauschbeere) [hierher gehören die Alpenrosen], Silberwurz (Dryas octopetala L.), das Steinrösel (Daphne striata) und seine Verwandten, dann der „Wegedorn" (Rhamnus pumila), die Kugelblume (Globularia cordifolia) und die Weiden des Hochgebirges. — Jedes dieser kleinen Kapitel ist auch für den Naturfreund, der nicht Botaniker ist, besonders reizvoll! Es werden die Merkmale der einzelnen Arten beschrieben, ihre Verbreitung, ihre Standorte und Bodenansprüche, ihre Beteiligung an den Pflanzengesellschaften, die Anpassungserscheinungen und die Bedeutung für die Ökonomie des Gebirges und seiner Bewohner. — Sehr willkommen sind die vielen dem Text eingefügten Abbildungen und Vegetationsbilder. *G. Weißhuhn, Berlin.*

Thurnwald, Richard, Psychologie des primitiven Menschen. Handbuch der vergleichenden Psychologie (Bd. *I*, S. 145—320). Herausgegeben von *G. Kafka*. München, Ernst Reinhardt, 1922. 16 × 24 cm.

Das Buch ist kein Abriß der „Völkerpsychologie" und will es auch nicht sein. Man muß sagen: glücklicherweise. Der Fachpsychologe steht heute vor einer

unübersehbaren Literatur, und wenn er sich schon, wie *Wundt*, entschließt, sie durchzuarbeiten, so fehlt ihm doch meist die ethnologische Kritik und die lebendige Anschauung. Nur ganz Wenige, wie die Engländer *Myers*, *Rivers*, *Mc Dougall*, *Hocart*, waren psychologisch und ethnologisch gleichmäßig vorgebildet, als sie selbst auf Forschungsreisen zu primitiven Menschen gingen. *Thurnwald* hat, während mehrjähriger Reisen in Melanesien und Neuguinea, seine ethnologischen und namentlich soziologischen Studien immer unter psychologischer Einstellung betrieben. Nun gibt er, unter Berücksichtigung auch der neuesten Literatur — das beigegebene Verzeichnis umfaßt 543 Nummern — und der prähistorischen Parallelen, gestützt auf eigene Erfahrungen und Beobachtungen einen kurzen Abriß der Ethnologie für Psychologen. Aber auch Andere und selbst Fachethnologen werden ihm für diese anregende und schon als Materialsammlung sehr nützliche Arbeit dankbar sein; ebenso für die geschickte Auswahl der Abbildungen (76 Figuren im Text und 16 Tafeln), die, namentlich in dem ausführlichen Abschnitt über die Schrift, das in den bekannten Gesamtdarstellungen (wie *Schurtz* oder *Buschan*) enthaltene Material in willkommener Weise ergänzen.

Die Naturwissenschaftler geht vor allem der „Physiologische Vorfragen" betitelte Abschnitt an. Die vergleichende Physiologie steckt noch ganz in den Anfängen, obwohl gerade von ihr für die Rassenkunde mehr zu erhoffen ist, als von der Anatomie und Morphologie. Das Urteil *Thurnwalds* scheint mir ganz berechtigt: „Die Anthropologie steht heute auf dem Entwicklungspunkt wie die Botanik zur Zeit *Linnés*." Alle sorgfältigen Feststellungen, sei das Ergebnis auch negativ, sind hier von nicht zu unterschätzender Bedeutung. *Thurnwald* erwähnt u. a.: rasches Heilen von Verletzungen, verhältnismäßig große Immunität gegen Unreinlichkeit und Infektionen bei Verwundungen, oft geringe Empfänglichkeit für Malaria; bei Negern hat man bessere Sehschärfe, höheres Akkommodationsvermögen und besseres Dämmerungssehen als bei Weißen gefunden. *Thurnwald* selbst fand (an Ozeaniern) ein außerordentlich feines Unterscheidungsvermögen für gewisse Farbabstufungen. Die reinen Sinnesleistungen der Primitiven sind denen des Europäers i. A. nicht unterlegen; im Wahrnehmen und Erkennen lebenswichtiger Gegebenheiten, wobei es auf die Sinnesschärfe nicht ankommt, sind uns die Naturvölker vielfach voraus. Rechtshändigkeit läßt sich schon an vorgeschichtlichen Geräten nachweisen, ist also wohl „ein allgemeines Merkmal des Menschengeschlechts"; dann kann man sie aber eben nicht als „Wirkungsergebnis kultureller Momente" und als „Ergebnis von Übung und Gewöhnung" ansehen, welch letztere Faktoren *Thurnwald* überhaupt stark zu überschätzen neigt. (Man vergleiche hierzu *Koffkas* „Grundlagen der psychischen Entwicklung" 1921.) Von besonderer Wichtigkeit für die physiologische Anthropologie ist der Bewegungshabitus. *Thurnwald* teilt sehr schöne Beobachtungen über den gesamtkörperlichen Ausdruck mit, der bei Primitiven frei von den Hemmungen, die innerhalb der Hochkulturen die Sitte auferlegt, und daher außerordentlich heftig ist: man wirft sich vor Erstaunen auf den Rücken, springt und tanzt vor Freude über Geschenke. Das erste Erscheinen des Weißen (im Innern von Neuguinea) erregte zunächst unbändige Furcht: „Unter Schreien und Kreischen ergreift man in höchster Aufregung unter Hin- und Hereilen die Flucht und sucht Frauen und Kinder in Sicherheit zu bringen. Gelingt es, die Erregten zu besänftigen und wieder heranzulocken, so wechseln oft jäh beklemmende Angst und tobende Freude. Jede unerwartete Sache oder Bewegung, jedes zufällige Ereignis kann zu den heftigsten Abwehrhandlungen führen und das nur für den Augenblick verdeckte Mißtrauen wachrufen."

Wer an die psychologische Untersuchung primitiver Menschen herangeht, muß vor allem zwei Vorurteile überwinden, die die Erkenntnis bisher meist arg behindert haben: der Primitive ist nicht notwendig dumm, schlecht und tierisch — wenn man nur europäische Kenntnisse, Fähigkeiten und Verhaltensweisen bei ihm sucht und prüft, wird man nicht viel mehr festgestellt haben, als daß er eben kein Europäer ist. Und zweitens: der Europäer kommt ungerufen mit einer barbarischen, unbegreiflichen — weil lebensfernen — und entheiligenden Wißbegierde und darf daher ein natürliches, ungezwungenes Verhalten erst erwarten, wenn die Gastgeber ihn nicht mehr als Eindringling, sondern als einen der Ihren ansehen. Wenn das *Thurnwald*sche Buch weiter nichts leistete, als diese Sachverhalte den Völkerpsychologen recht eindringlich zu machen, so wäre auch das schon verdienstlich genug.

E. M. v. Hornbostel, Berlin-Steglitz.

Minerva, Jahrbuch der gelehrten Welt. Begründet von *R. Kukula* und *K. Trübner*, herausgegeben von *Gerhard Lüdtke* und *Erich Neuner*. 26. Jahrgang. Berlin und Leipzig, Walter de Gruyter & Co., 1923. XLVIII, 1641 S. Grundzahl 30.

Die *Minerva* für das Jahr 1923 ist erschienen (im 26. Jahrgange) und hat ihrem Äußeren nach die Nachwirkung des Krieges vollkommen überwunden. Die beiden letzten Bände hatte ihr mehr als gewissenhafter Herausgeber nur als Notbau bezeichnet, aber mit dem neuen Jahrgang ist der Notbau dem früheren geräumigen Hause gewichen, das wieder auf starker Grundmauer ruht. Dem unermüdlichen Dr. *Lüdtke* ist es geglückt, das Buch wieder auf den alten Stand zu bringen, jetzt unter der Mitarbeit von Dr. *Erich Neuner*, in dessen Hand er einen großen Teil der neuen mühevollen Arbeit gelegt hatte.

Der Internationalismus, der früher eine Selbstverständlichkeit war, wenn es sich um wissenschaftliche Angelegenheiten handelte, gleichviel ob es um Mitarbeit ging oder um Fragen der Personalien und der Verwaltung, ist in der Welt so selten geworden, daß er hervorgehoben zu werden verdient, wo er noch lebt oder wieder lebt. In Deutschland war er stets vorhanden, und hier gilt es nur als selbstverständlich, daß ein Buch wie die *Minerva*, nachdem es die durch den Krieg verursachten Hindernisse überwunden hat, wieder allen Ländern die gleiche Aufmerksamkeit zuwendet. In Frankreich hat der Krieg einen Index Generalis entstehen lassen, ein Annuaire général des Universités, Grandes Ecoles, Académies, Archives, Bibliothèques, Instituts scientifiques, Jardins botaniques et zoologiques, Musées, Observatoires, Sociétés savantes. (Der Herausgeber ist Dr. *R. de Montessus de Ballore*.) Ursprünglich bestand der Plan, die Mittelmächte aus diesem Jahrbuch auszuschließen. Davon hat man schließlich abgesehen, vermutlich um der *Minerva* die internationale Verbreitung auch in Zukunft nicht gar zu leicht zu machen. Aber die Franzosen haben mit ihrem Konkurrenzunternehmen doch recht wirksam für die *Minerva* Propaganda gemacht, wie man aus einer Besprechung des Index Generalis in der *Nature* vom 31. März dieses Jahres entnehmen kann. Nach der üblichen Verbeugung vor dem Herausgeber, der sich „die Dankbarkeit der Gelehrten aller Länder" erworben hat, und „der zu beglückwünschen ist wegen seiner einsichtsvollen Wahl der Drucktype und der Methode, mit

der er in dem Buche nicht nur auf die betreffende Seite, sondern auch auf den betreffenden Abschnitt der Seite hinweist, in dem der Name gesucht und gefunden wird" — allerdings ein Vorzug eines solchen Buches, nur nicht gerade der entscheidende — bezeichnet der Referent den Index Generalis als das einzige umfassende Auskunftsbuch der gelehrten Welt „pending the issue of *Minerva* in its old form". Aber dann geht er an die Prüfung der Angaben, um deretwillen das Buch überhaupt vorhanden ist und die ja wichtiger sind als der Druck und die Bequemlichkeit, und selbstverständlich hat er gewisse Angaben gesucht, die er als Engländer darin zu finden erwartet hat, so z. B. Angaben über die Osmanische Universität Hyderabad, die Universität Rangoon, die Universität Patna, das Universitätskolleg Swansea usw., aber nichts von alledem findet er, nicht einmal den Namen. Dem Herausgeber der *Minerva* liegen diese Universitäten nicht näher als dem Herausgeber des Index Generalis, und wenn die Auskunft über sie als Prüfstein für das eine Buch gelten kann, dann sicher auch für das andere. Sie ist in der *Minerva* nicht nur zu finden, sondern so reichlich, daß man an der Vollständigkeit und Zuverlässigkeit der Angaben kaum zu zweifeln braucht. Und wo man den neuen Jahrgang auch sonst aufschlägt, er ist genau so zuverlässig und so erschöpfend wie nur je ein Jahrgang aus Deutschlands besten Tagen. *Ein* Name allerdings fehlt in der *Minerva*, den der Index Generalis aufführt und dessen der Referent der *Nature* ganz besonders Erwähnung tut. *Petro Drilling* fehlt in der *Minerva*. Der Herausgeber des Index Generalis hat ihn als Gelehrten entdeckt, indem er die Bezeichnung des Lehrfaches (Erbohrung von Petroleumquellen) für den Namen eines Dozenten gehalten hat. Zu derlei Erheiterungen gibt die *Minerva* freilich keinerlei Anlaß. Mit Fug und Recht könnte sie die Verse auf sich beziehen, die *Goethe* einer andern Minerva gewidmet hat, der von *Archenholtz* herausgegebenen *Zeitschrift für Politik und Literatur:* Trocken bist du und ernst, doch immer die würdige Göttin, Und so leihest du auch gerne den Namen dem Heft. *Arn. Berliner, Berlin.*

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Bemerkung über die Spektren der Alkalien.

In den Spektren der Alkalien hat man es mit einer Reihe von Linienpaaren zu tun, die für jedes Element die gleiche Schwingungsdifferenz besitzen, aber von Element zu Element sich mit wachsendem Atomgewicht erweitern ungefähr proportional dem Quadrat des Atomgewichts. Bei Rubidium und Cäsium sind sie weit genug, um noch eine feinere Struktur zu zeigen. Bei der sogenannten diffusen Serie nämlich sieht man, daß die eine der beiden Komponenten der Linienpaare selbst wieder doppelt ist und aus einer stärkeren Linie und einem Begleiter besteht. Der Abstand des Begleiters von der anderen Komponente gibt dabei dieselbe Schwingungsdifferenz wie die Paare der scharfen Serie und wie das erste Paar der Hauptserie.

Man kann vermuten, daß die Dinge bei Lithium, Natrium und Kalium ebenso liegen, daß auch hier bei der diffusen Serie die eine der beiden Komponenten der Linienpaare selbst wieder aus zwei nahe zusammenfallenden Linien besteht, die aber zu eng liegen, um spektroskopisch getrennt zu werden. Diese Vermutung läßt sich durch ein indirektes Verfahren bestätigen. Wenn man nämlich das Mittel der Schwingungsdifferenzen der am besten gemessenen Linienpaare der diffusen Serie mit dem Mittel der am besten gemessenen anderen Paare vergleicht, so zeigt sich eine zwar kleine, aber gesicherte Abweichung der beiden Mittel voneinander.

Das Verfahren läßt sich dem der Astronomen vergleichen, wenn sie aus der Störung der Bahn eines Himmelskörpers die Existenz eines anderen unsichtbaren Körpers erschließen.

Bei Lithium sind dem kleinen Atomgewicht entsprechend die Linienpaare so eng, daß die Differenzen der Schwingungszahlen nicht genau genug gemessen sind, um eine Abweichung der beiden Mittel voneinander festzustellen. Bei Kalium und Natrium aber ist die Differenz der Mittel ungefähr dreimal so groß wie ihr mittlerer Fehler. Nach der Gaußischen Fehlerkurve ist die Wahrscheinlichkeit, daß ein mittlerer Fehler zweifach überschritten wird, kleiner als 0,05, daß er dreimal überschritten wird, kleiner als 0,003. Es ist daher sehr unwahrscheinlich, daß die Abweichung der Mittel auf der Ungenauigkeit der Beobachtungen beruht.

Die berechneten Werte sind die folgenden:

		Differenz der auf einen Zentimeter Lichtweg fallenden Lichtwellen	Mittlerer Fehler
Kalium	1. Linienpaar der Hauptserie	57,71	
	Gut gemessene Linienpaare der scharfen Serie	57,74	
		57,63	
	Mittel	57,693	0,033
	Linienpaare der diffusen Serie bei 5350, 5100, 4960	57,80	
		57,77	
		57,85	
	Mittel	57,807	0,023
	Differenz der Mittel	- 0,114	0,040
Natrium	1. Linienpaar der Hauptserie	17,18	
	Gut gemessene Linienpaare der scharfen Serie	17,17	
		17,17	
		17,18	
		17,18	
	Mittel	17,176	0,0025
	Linienpaare der diffusen Serie bei 5680, 4980, 4665, 4495	17,17	
		17,14	
		17,16	
		17,14	
	Mittel	17,153	0,008
	Differenz der Mittel	0,023	0,0084

Merkwürdig ist, daß bei Kalium das Mittel für die diffuse Serie das größere ist, bei Natrium dagegen das kleinere. Es folgt daraus, daß bei Kalium der schwächere Begleiter zwischen den anderen beiden Komponenten liegt. Dies Verhalten wird durch eine Bemerkung von *Datta* bestätigt, der aus zwei von ihm beobachteten Kombinationslinien denselben Schluß zieht.

Genauere quantitative Schlüsse auf den Abstand des Begleiters lassen sich nicht machen, weil sich der Abstand von Linienpaar zu Linienpaar ändert. Bei Gliedern der Serie, die weiter nach der roten Seite liegen

als die der Rechnung zugrunde liegenden, muß der Abstand nach der Analogie anderer Spektra erheblich größer sein. Diese roten Linien sind aber nicht genau genug gemessen. Für die genau gemessenen wird dagegen der Abstand nicht erheblich schwanken.

Göttingen, den 27. April 1923. *C. Runge.*

Über dle Schwingungsdifferenz der Linien der Dublets.

Die Struktur des Liniendublets der Hauptserien $m\,s - n\,p_i$ oder der II. Nebenserien $n\,p_i - m\,s$ verstehen wir unter der Annahme, daß der s-Term ein einfacher Term ist, und daß es zwei verschiedene p-Terme gibt, nämlich $n\,p_1$ und $n\,p_2$, von denen in allen bisher bekannten Fällen $n\,p_2$ den größeren Wert hat. Der Abstand der Linien dieser Dublets gibt daher genau die Differenz $n\,p_2 - n\,p_1$. In der I. Nebenserie sind die Terme $n\,p_i$ kombiniert mit dem ebenfalls differenzierten Term $m\,d_j$, von dem es die zwei Werte $m\,d_1$ und $m\,d_2$ gibt. Es kommen gewöhnlich nicht alle vier Kombinationen zwischen den beiden p- und den beiden d-Termen vor, sondern nur die drei des Schemas:

$$n\,p_1 - m\,d_2 \text{ (schwach)}, \quad n\,p_2 - m\,d_2 \text{ (stark)},$$
$$n\,p_1 - m\,d_1 \text{ (sehr stark)}.$$

Dies versteht *A. Sommerfeld* durch seine Annahmen über die Werte „innerer" Quantenzahlen und deren Auswahlregel. Wenn $n\,p_i > m\,d_j$ ist, liegt ein Gebilde einer I. Nebenserie vor. Gewöhnlich ist 1) $m\,d_1 < m\,d_2$. Dann hat das Gebilde das Aussehen der Fig. 1.

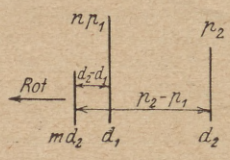

Fig. 1.

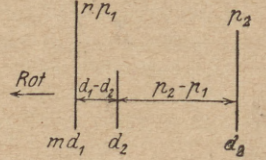

Fig. 2.

Es kommt aber auch der Fall 2) vor, daß $m\,d_1 > m\,d_2$ ist, nämlich wie es scheint, dann, wenn die Differenz $\Delta\, m\,d_j$ sehr klein ist. Alsdann liegt ein Gebilde der Fig. 2 vor.

Wenn die Differenz $\Delta\, m\,d_j$ noch vorhanden, aber so klein ist, daß der Spektralapparat die 2 Linien $n\,p_1 - m\,d$ nicht trennt, so mißt man als Schwingungsdifferenz des Dublets eine Wellenzahl, welche im Fall 1) kleiner ist, als die Schwingungsdifferenz des Dublets $n\,p_i - m\,s$ der II. N.-S., welche aber im Fall 2) größer ist, vorausgesetzt, daß keine weiteren Störungen an den Linien in Betracht kommen.

Hr. *C. Runge* diskutiert oben Messungen von *S. Datta*[1]) über die Wellenlängen der Linien der Dublets in den Spektren Na I und K I, welche in einem Vakuumbogen erzeugt wurden. Er findet, daß bei Kalium die Paare der I. N.-S. um 0,114 cm^{-1} weiter aufgespalten sind, als die der II. N.-S. und schließt, daß der Fall 2) vorliege, und ein Begleiter zwischen den Hauptlinien vorhanden sei. Denn die mittleren Fehler der verglichenen Schwingungsdifferenzen sind etwa viermal kleiner, als die obige Differenz von 0,114 cm^{-1}. Hr. *Runge* bemerkt auch, daß diese Schlüsse im Einklang stehen mit dem Befunde von *S. Datta*, daß die Kombinationslinie $1\,s - 3\,d_j$ doppelt ist mit einer Differenz von 2,74 cm 1 der Wellenzahlen. Da die stärkere Linie dieses Paares nach rot liegt, muß $3\,d_1 > 3\,d_2$ erfüllt sein und $3\,d_1 - 3\,d_2 = 2{,}74$ cm^{-1}.

[1]) *S. Datta*, Proc. Roy. Soc. A. Vol. *99* (1921), p. 69.

Es liegt daher der Fall 2) vor. Man würde nur erwarten, daß in den Schwingungsdifferenzen der Paare

$m =$	6	7	8
$\lambda =$	5350,	5100,	4960

ein Gang aufträte, nämlich daß 5350 die größte, 4960 die kleinste Abweichung von der Differenz 57,693 der II. N.-S.-Paare aufweisen würde. Wenn das nicht der Fall ist, würde man vermuten, daß die besprochenen Momente nicht die einzigen sind, welche diese Messungen beeinflussen. Denn die Differenz $\Delta\, m\,d_j$ muß im allgemeinen mit wachsendem m abnehmen.

Für die Paare des Natriumspektrums führt die von Hrn. *Runge* durchgeführte Vergleichung zu dem Resultat, daß die Paare der I. N.-S. um 0,023 cm^{-1} enger berechnet werden, als die der II. N.-S., während die mittleren Fehler der Einzelwerte der Differenzen 0,0025 und 0,008 sind. Hier fällt auf, daß die größte Abweichung der verwerteten vier Einzelwerte der I. N.-S. 0,03 cm^{-1} beträgt, also von der Größe der behaupteten Differenz ist. Es fällt weiter auf, daß die mittleren Fehler der verglichenen Mittelwerte bedeutend kleiner sind als bei den Paaren des Kalium, wo sie 0,033 und 0,023 betragen, also so groß sind, wie die Zahl, auf die sich die Schlüsse bei Natrium gründen. Diese Schlüsse wären, daß der Begleiter auch bei Na I bemerkt wird, daß er aber dem Falle 1) entsprechend außen liegt. Dies ist aber nicht wahrscheinlich. Denn das Na I-Spektrum muß ähnlich dem Spektrum Mg II des einfach ionisierten Mg und dem Spektrum Al III des zweifach ionisierten Aluminiums sein, nur daß die Differenzen $\Delta\, d_j$ noch bedeutend kleiner sind. Denn es handelt sich in den drei Fällen um die Bindung des elften Elektrons bei verschiedener Kernladung. Bei Mg II findet *A. Fowler* $3\,d_1 > 3\,d_2$ und $3\,d_1 - 3\,d_2 = 0{,}99$ cm^{-1} aus der Serie $3\,d_j - m_f$ (B-Serie), welche aus Dublets besteht, deren stärkere Linien kleinere Wellenlängen haben[2]). Im Spektrum Al III ist es analog (beobachtet am Dublet $4\,d_j - 5\,f_i$ Hier sind außerdem die Linienfigurationen des Falles 2) zum ersten Male durch einige Repräsentanten vertreten, nämlich durch $3\,d_j - 4\,p_i$ (Dublet 3601—3612) und $4\,p_i - 4\,d_j$ (Dublet 4512—4529). Es ist nicht wahrscheinlich, daß die Dublets der I. N.-S. des Spektrums Na I, bei denen die d_j-Differenzen kleiner sein müßten als im Mg II-Spektrum, eine andere Struktur haben, wenn in ihnen die Differenzierung $\Delta\, m\,d_j$ noch vorhanden ist Die $\Delta\, 3\,d_j$-Differenz ist entweder bereits Null, und die Weite der Dublets der beiden Nebenserien unterscheiden sich nicht mehr, oder man sollte erwarten, daß der Fall 2) vorliege. Eine Entscheidung zwischen diesen beiden Möglichkeiten kann meiner Meinung nach aus den Messungen von *S. Datta* nicht abgeleitet werden. Nach diesen sind die Dubletdifferenzen der beiden Serien innerhalb der *möglichen* Fehler gleich.

Zu den Fehlern kommt nämlich die Unschärfe der Linien hinzu, welche *Datta* selber für den Fall größerer Dampfdichte hervorhebt. Durch beständiges Pumpen sucht er die Unschärfe zu verkleinern. Nun sind sowohl bei K wie besonders bei Na sämtliche Linien der I. N.-S. unscharf nach Rot, um so mehr, je stärker die Linie ist. In diesem Falle kann man die Wellenlänge der Linie nicht mehr richtig messen. Man erhält zu große Wellenlängen, um so mehr, je stärker die Linie ist. Dann wird im Falle 2) die Differenz zu groß. Dies wird im Spektrum K I bei der Linie 4960 mehr der Fall sein als bei 5350, weil die Unschärfe der höheren

[2]) Die Bezeichnungen sowohl bei *E. Fues*, Ann. d. Phys. 63, 1920, Heft 1, wie in „*Paschen-Götze*, Seriengesetze" sind unrichtige. $3\,d_1$ entspricht der stärkeren Linie, welche kleinere Wellenlänge hat.

Serienglieder eine größere ist, womit für die oben hervorgehobene Unstimmigkeit die Möglichkeit einer Begründung gegeben scheint.

Daß die von *N. A. Kent* gemessenen Differenzen der Dublets der beiden Nebenserien des Spektrums Li I auf die Wirkung eines vorhandenen Satelliten zurückzuführen seien, wie *A. Sommerfeld*[3]) meint, erscheint hiernach noch weniger möglich als bei Na.

Wenn hier das gesagt ist, was nach bisherigen Tatsachen im Falle von Na I zu erwarten ist, so wäre es doch interessant, durch das Experiment bei Na die Differenz $\Delta 3\, d_j$, oder bei K diejenigen $\Delta 5\, d_j$ und $\Delta 6\, d_j$ unter Auflösung der starken Linie nachzuweisen. In den Spektralgesetzen sind Verallgemeinerungen unsicher.

Tübingen, den 13. Mai 1923. *F. Paschen.*

Astronomische Mitteilungen.

Cerulli Nachfolger Kapteyns im Vorstand der Astronomischen Gesellschaft. Der Vorstand der Astronomischen Gesellschaft hat in einer kürzlich in Potsdam abgehaltenen Sitzung an Stelle des im vorigen Jahre verstorbenen berühmten holländischen Astronomen *Kapteyn* den Präsidenten der italienischen astronomischen Gesellschaft, Professor *V. Cerulli*, als Vorstandsmitglied kooptiert. Professor *Cerulli* hat einen in der internationalen Astronomie wohlbekannten Namen. Bei der letzten Versammlung der von den alliierten Astronomen gegründeten „Union Astronomique Internationale", Rom, Mai 1922, hielt er eine große Rede, die verdient, in diesem Zusammenhange besonders hervorgehoben zu werden. Wir geben den letzten Teil dieser Rede in Übersetzung nach dem offiziellen Versammlungsbericht wieder:

„Unsere Institution, meine Herren, ist also in mehr als einem Hauptpunkte lobenswert, und wir, die wir ihr anzugehören schon die Ehre und das Glück haben, müssen mit ebensoviel Stolz als Liebe auf sie blicken. Dies enthebt uns aber nicht der Pflicht, ihr dieselbe kritische Betrachtung zuzuwenden, die, wie wir gesehen haben, die unzertrennliche Begleiterin unserer Unternehmungen sein muß. Sie werden mir also gestatten, auf den Schritt hinzuweisen, der uns noch von der Vollkommenheit trennt. „*Gestatten*" sage ich — schließe ich aber von meiner Gesinnung auf die Ihrige, so glaube ich, daß es heute nach Ihrer aller Meinung eine *Pflicht* ist, einem hohen Gedanken Ausdruck zu geben, der seit einiger Zeit Ihre Geister ohne Ausnahme beschäftigt.

Lebensbedingung für unsere Union, meine Herren, ist die Universalität. Soll Urania aus ihr Nutzen ziehen, sie nicht fallen lassen als einen Organismus weniger hoher Art als sie selbst und deshalb unfähig, ihren Zwecken zu dienen, so ist es unerläßlich nötig, daß die Union sich auszudehnen suche auf alle Kulturvölker. Die Unterscheidung zwischen ihr angehörenden und ihr nicht angehörenden Ländern muß verschwinden. Wenn die Union lebensfähig sein, d. h. den Folgerungen der Logik entsprechen soll, so müssen alle Länder sich als ihr angehörend betrachten, da jede Beschränkung, jede Ausschließung auf die Dauer absurd sein würde, und nichts fürchten die Männer der Wissenschaft mehr als das Absurde, ja es ist das einzige, was sie fürchten. Stellen Sie sich vor, meine Herren, welcher Gipfel, welcher *Exponent* des Absurden: eine Relativitätskommission ohne *Einstein*!

Es ist ja richtig, daß die Union unheilvollen, kritischen Zeiten ihren Ursprung verdankt, aber es ist unsere höchste Pflicht, sie nunmehr gerade von dem Fehler zu befreien, der ihr von jenen Zeiten her anhaftet. Heute, meine Herren, müssen wir uns des schönen Lobspruches des pälignischen Dichters erinnern, den er an die Astronomen von vor 2000 Jahren richtete:

„Credibile est illos pariter vitiisque locisque
Altius humanis exseruisse caput."
Ovid. fast. 1, 299 f.

Es ist mehr denn je die Zeit, meine Herren, diesen Lobspruch zu verdienen. *Ovid* schreibt uns die Fähigkeit zu — und wir sollen das wahr machen — nicht nur unsere Augen über die irdischen Räume, sondern auch unsere Geister über die menschlichen Fehler zu erheben. Die menschlichen Fehler und Schwächen führen notwendig zu nationalen Rivalitäten, zu nationalem Haß. Wir Astronomen aber pflegen neben unserer angeborenen Nationalität eine solche der Wahl, eine Supernationalität, die uns für immer mit Banden der Brüderlichkeit vereinigt und keine Ausnahmen kennt. „Sic petitur caelum!" Nur durch diese Supernationalisierung der Astronomen darf Uraniens Wissenschaft sich einen klaren, ungestörten Aufstieg versprechen: denn, wie alle anderen reinen Wissenschaften, hat auch sie ein unpolitisches Feld nötig, auf dem die spekulativen Geister aller Stämme sich in heiterer Ruhe verschmelzen und gegenseitig ergänzen können.

Wenn ich also die Vervollständigung der Union durch Einladung der noch abwesenden Nationen, sich ihr anzuschließen, als das schönste Ziel bezeichne, zu welchem unsere heutigen Besprechungen führen sollen, so glaube ich nicht nur meiner eigenen und der Gesinnung meiner italienischen Fachgenossen, sondern auch der aller hier versammelten illustren Gäste Ausdruck zu geben.

Dieser Wunsch, meine Herren, lag schon, wie gesagt, seit einiger Zeit in unseren Seelen verborgen. Mir, der ich die Ehre habe, in Rom zu Ihnen zu sprechen, lag die Verpflichtung ob, diesem Wunsche öffentlich und feierlich Ausdruck zu geben, denn Roms Name ist für erleuchtete Geister das Sinnbild jener Supernationalität, die wir anrufen.

Hiernach bleibt mir nur noch übrig, meine herzliche Begrüßung zu wiederholen, indem ich sie auch auf jenen illustren und integrierenden Teil der astronomischen Welt ausdehne, der bei unserer Zusammenkunft fehlt, und indem ich die Zuversicht ausspreche, daß der nächste Kongreß der Union sich der Anwesenheit Aller wird erfreuen können."

Die Stellung der Kugelhaufen und der Spiralnebel gegenüber unserem Milchstraßensystem ist vor allem bezüglich der Spiralnebel noch keineswegs endgültig geklärt, so daß jeder Versuch, der geeignet ist, neues Licht in das Problem zu bringen, begrüßt werden muß. *Reynolds*, der sich schon früher ausgiebig mit den Spiralnebeln befaßt hat, untersucht in den Monthly Notices (*LXXXIII*, S. 147—152, The Galactic Distribution of the Spiral-Nebulae, with Special Reference to Galactic Longitude) die Beziehungen zwischen der

[3]) *A. Sommerfeld*, Atombau und Spektrallinien, 3. Aufl., S. 443.

Verteilung der Spiralnebel und der Kugelhaufen und kommt zu folgenden bemerkenswerten Ergebnissen:

1. Die scheinbare Verteilung der Kugelhaufen und Spiralen (von 2′ Durchmesser aufwärts) zeigt deutlich eine gegenseitige Ausschließlichkeit. Es kommen nur ganz vereinzelte Spiralen vor in dem Gebiet, auf das, wie man seit langem weiß, die Kugelhaufen beschränkt sind, vor allem auf der nördlichen galaktischen Hemisphäre.

2. Auf der nördlichen galaktischen Hemisphäre gibt es mehr Spiralnebel, als auf der südlichen (Verhältnis 3 : 2), und sie bilden hier ein breites Band, das sich von der Gegend des Großen Bären unter gleichzeitiger Abnahme der scheinbaren Größe der Nebel über den Pol hinweg nach dem Sternbilde der Jungfrau hinzieht. Dagegen befinden sich die fünf größten Spiralnebel südlich der Milchstraße. Daraus ist zu schließen, daß die Ebene der Milchstraße im System der Spiralnebel unsymmetrisch liegt, nämlich merklich südlich der Symmetrieebene.

3. Während wir die größten Spiralnebel vorzugsweise in sehr schräger Aufsicht (d. h. fast „von der Kante") sehen, erscheinen die Neigungen der Spiralebenen gegen die Gesichtslinie mit abnehmender Größe der Nebel immer gleichmäßiger um den Mittelwert 30° verteilt.

4. Wenn es erlaubt ist, den von *Shapley* für die Kugelhaufen bemerkten linearen Zusammenhang zwischen scheinbarem Durchmesser und Entfernung auf die Spiralnebel zu übertragen, dann müssen wir einen sehr weiten Spielraum für die Entfernungen zulassen, da Durchmesser von 130′ (Andromedanebel) bis herab zu 30″ festgestellt sind.

Hopmann (Über die kosmische Stellung der Kugelhaufen und Spiralnebel, Astr. Nachr. 5215) bewegt sich zum großen Teil in den Bahnen *Shapleys*, indem er die verschiedensten photometrischen Daten zur Ableitung der Entfernungen heranzieht. Bezüglich der Kugelhaufen findet er *Shapleys* Ergebnisse bestätigt. Die Spiralnebel sucht er als im Prinzip mit den Sternhaufen gleichartige Gebilde zu beweisen. Bei dem stark hypothetischen Charakter, der den verschiedenen, zur Bestimmung der Entfernung der Spiralnebel vorgeschlagenen Methoden zukommt, ist es kaum am Platze, hier näher darauf einzugehen. Wir begnügen uns mit der Skizzierung des Bildes, das *Hopmann* sich vom Universum macht. Mit *Shapley* betrachtet er die Kugelhaufen als außerhalb des eigentlichen „Milchstraßenkomplexes", diesem aber relativ nahe, stehend. Die Spiralnebel sollen als den Sternhaufen ähnliche Gebilde dann die äußere Hülle des Ganzen abgeben. Vom Zentrum des Milchstraßensystems (dieses mit den Durchmessern etwa 4000 und 20 000 parsec) wären die nächsten Spiralnebel (Andromeda) etwa 5000 parsec, die fernsten aber etwa $2{,}5 \cdot 10^6$ parsec entfernt.

Die Pickeringserie in den Spektren der O-Sterne ist bekanntlich zuerst für eine Nebenserie des Wasserstoffs gehalten, später, auf Grund des Bohrschen Atommodells, aber als eine Serie des ionisierten Heliums erkannt worden. Die Hälfte der Linien fällt nahe mit den Wasserstofflinien H_α, H_β ... zusammen und unterscheidet sich von diesen nur um die kleine, von den verschiedenen Rydbergkonstanten herrührende Wellenlängendifferenz von 2 A. E. Während im physikalischen Laboratorium die Trennung dieser Linienpaare längst gelungen ist (*Paschen* 1916), hatte die Auflösung der im allgemeinen sehr breiten Wasserstofflinien in den Spektren der O-Sterne bisher allen Bemühungen der Astronomen getrotzt. Jetzt hat *H. H. Plaskett* (The Spectra of three O-Type Stars, Publ. of the Dominion Astrophys. Obs. Victoria I, 30) an drei Sternen einwandfrei die Trennung der Linien vollzogen. Es stand ihm ein ausgezeichneter Spektrograph zur Verfügung, der mit einem, zwei oder drei Prismen die folgenden linearen Dispersionen (A. E./mm) zu erreichen gestattete:

Prismen	H_α	H_δ
I	123	23
II	66	11
III	45	7

Es wurden von 10 Lacertae (Typus Oe 5 mit scharfen Linien) 17 Aufnahmen gewonnen, von 9 Sagittae (Oe 5 mit diffusen Linien) 7 und von $B_D + 35° 3930$ (Oe ohne He-Linien, nur mit He+) deren 4. In der Mehrzahl der Fälle ließen sich die fraglichen Linien trennen und die Wellenlängen messen. Im Mittel ergaben sich die folgenden Zahlen, welche mit den danebengestellten Laboratoriumsmessungen verglichen werden mögen.

Sternspektren				Laboratorium	
H		He^+		H	He^+
6562,59	± 0,04	6560,04	± 0,02	6562,793	6560,13
—		5411,62	04	—	5411,55
4861,32 *	01	4859,08*	09	4861,326	4859,34
—		4685,70	01	—	4685,74
—		4541,67	03	—	4541,61
2340,43 *	02	4338,80	04	4340,467	4338,69
—		4200,06*	03	—	4199,86
4101,72 *	01	4100,27	06	4101,738	4100,05

Die mit * bezeichneten Linien sind in den Sternspektren durch Stickstofflinien gestört. Die Übereinstimmung mit der Bohrschen Theorie läßt also nichts zu wünschen übrig, wie auch noch der Vergleich der von *Plaskett* abgeleiteten Rydbergkonstanten mit der von *Paschen* bestimmten zeigt:

Plaskett: $N_2 = 109\,722{,}3 \pm 0{,}44$

Paschen: $N_2 = 109\,722{,}14 \pm 0{,}04$

Im 3. Kapitel seiner Arbeit untersucht *Plaskett* die O- und B-Spektren näher und kommt zu dem Schlusse, daß die Harvard-Einteilung etwas modifiziert werden müsse. Wenn man auf Grund der Theorie *Sahas* die Linienintensität als qualitatives Maß einführt, dann läßt sich die Klasse O in streng dezimaler Unterteilung vor die Klasse B stellen. *Plaskett* gibt für die einzelnen Unterklassen je einen typischen Stern und das Intensitätsverhältnis gewisser Linienpaare an.

In einem Anhang wird schließlich noch auf die physikalische Deutung der Sternspektren eingegangen und nach Darlegung der Sahaschen Gedankengänge eine Verbesserung und Erweiterung dieser Theorie vorgetragen, in der den Zusammenstößen der freien Elektronen mit den Atomen eine wesentliche Rolle zukommt.

H. Kienle.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW 19.